

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II

- Professur für Organischen Landbau -

Einfluss differenzierter Bodenbearbeitung und unterschiedlicher Vorfrüchte auf die Stickstoffdynamik des Bodens sowie auf die Stickstoffaufnahme und Ertragsbildung von Winterweizen im Ökologischen Landbau

Diplomarbeit

**Fachbereich Agrarwissenschaften
Ökotropologie und Umweltmanagement**

**vorgelegt von
Stephan Ahrberg**

**Giessen
April 2001**

„Meine Untersuchungen hatten mich aber zu der vollen Überzeugung geführt, daß wenn die Verbesserung unserer Felder, die Erhöhung ihrer Erträge von einer Zufuhr von Stickstoffnahrung durch Zukauf von außen abhängig sei, daß man für immer auf einen Fortschritt in der Landwirtschaft verzichten müsse. (...)

Ich wußte aus den Bestimmungen des Ammoniaks in der Luft, daß die Atmosphäre allein, also ohne den Boden zuzuziehen, soviel Stickstoffnahrung, als für den intensivsten Betrieb erforderlich sei, zuführe, und daß es sich nur darum handle, durch geschickte Behandlung der Felder und die richtige Wahl der Fruchtfolge das Maximum, was die Atmosphäre darbiere, auf den Feldern in der Form von Futter- und Korngewächsen zu verdichten“ (Liebig, 1867)

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen.....	III-V
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Literaturübersicht	2
2.1 Der Stickstoff im Boden	2
2.1.1 Die Bindungsformen des Stickstoffs	2
2.1.2 Einflussfaktoren der Stickstoffmineralisation.....	3
2.2 Einfluss legumer Vorfrüchte und unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die Stickstoffnachlieferung des Bodens und den Ertrag von Getreide.....	4
2.2.1 Einfluss legumer Vorfrüchte	4
2.2.2 Einfluss der Bodenbearbeitung.....	4
2.3 Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau.....	6
2.4 Weizen im Ökologischen Landbau.....	7
2.4.1 Bedeutung	7
2.4.2 Besonderheiten des Anbaus und der Ertragsbildung.....	7
2.4.3 Stickstoffdynamik unter Weizen.....	8
3 Material und Methoden	10
3.1 Standort und Witterung	10
3.2 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung	11
3.2.1 Faktor Fruchtfolge (Vorfrucht)	12
3.2.2 Faktor Bodenbearbeitung.....	13
3.2.3 Anbaudaten des Winterweizens	15
3.3 Probenahme und Analytik der Boden- und Pflanzenproben	15
3.3.1 Bodenproben	16
3.3.2 Pflanzenproben.....	17
3.4 Berechnung der N-Netto-Mineralisation	18
3.5 Ertrag und Qualität der Vorfrüchte 1999	19
3.5.1 Feldfutter (a1) und Grünbrache (a2).....	19
3.5.2 Ackerbohnen (a3)	20
3.6 Statistische Auswertung.....	21

4 Ergebnisse.....	23
4.1 Stickstoffdynamik im Boden.....	23
4.1.1 Dynamik der Nitratgehalte vom Herbst 1999 bis zum Frühjahr 2000.....	23
4.1.2 Gehalt an löslichem Stickstoff (N_{\min} -N) im Frühjahr 2000.....	26
4.1.3 Dynamik der N_{\min} -Gehalte während der Vegetationsperiode 2000 bis zur Ernte des Weizens	27
4.2 Untersuchungen an der Pflanze	34
4.2.1 Auflaufbonitur	34
4.2.2 Sprossmassebildung	34
4.2.3 Stickstoffgehalte	36
4.2.4 Stickstoffentzüge.....	37
4.3 N-Netto-Mineralisation.....	39
4.4 Ertragsstruktur, Ertrag und Qualität des Weizens	40
4.4.1 Bestandesdichte	40
4.4.2 Körner pro Ähre	41
4.4.3 Tausendkornmasse.....	42
4.4.4 Korn- und Strohertrag.....	43
4.4.5 Ertragsstrukturanalyse	44
4.4.6 Proteingehalt der Körner	44
5 Diskussion.....	45
5.1 Nitratverlagerung über Winter.....	45
5.2 Einfluss der Versuchsfaktoren auf die Nitratgehalte von Herbst und Frühjahr, die N_{\min} -Dynamik in der Vegetationszeit sowie auf das Weizenwachstum.....	46
5.2.1 Faktor Fruchtfolge (Vorfrucht)	46
5.2.2 Faktor Bodenbearbeitung.....	49
5.3 Ertragsstruktur, Ertrag und Qualität des Weizens	53
5.4 Schlussfolgerung.....	57
6 Zusammenfassung.....	58
7 Literaturverzeichnis.....	59
8 Anhang	65

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Chemische Bodeneigenschaften der Versuchsfläche.....	10
Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen des Feldversuches	11
Tab. 3: Die Fruchtfolge des Feldversuches seit 1998 im Überblick.....	12
Tab. 4: Die Varianten der Bodenbearbeitung des Jahres 1999 im Überblick.....	14
Tab. 5: Anbaudaten des Winterweizens.....	15
Tab. 6: Probenahme- und Boniturtermine 1999/2000	15
Tab. 7: Veränderung der Nitratgehalte (Nitrat-N kg/ha) vom 01.11.99 bis 13.03.00 (0-90 cm) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung	25
Tab. 8: N_{\min} -Gehalte des Bodens (N_{\min} -N kg/ha) am 13.03.00 (60-90 cm) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung	33
Tab. 9: Keimpflanzen des Weizens (Pflanzen/m ²) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung	34
Tab. 10: Entwicklung der Stickstoffgehalte (% N i. d. TM) des Weizens in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung	36
Tab. 11: Stickstoffgehalte in Korn und Stroh (% N i. d. TM) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung.....	37
Tab. 12: N-Netto-Mineralisation (N in kg/ha) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung	39
Tab. 13: Bestandesdichte des Weizens (Ähren/m ²) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung	40
Tab. 14: Verhältnis zwischen der Bestandesdichte des Weizens (Ähren/m ²) und der Anzahl an Keimpflanzen im Herbst (Pflanzen/m ²) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung.....	40
Tab. 15: Korn- und Stroherträge des Weizens (dt/ha, 86 % TM) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung.....	43
Tab. 16: Korrelation der Ertragsparameter mit dem Kornertrag des Weizens	44
Tab. 17: Proteingehalt der Weizenkörner (% i. d. TM) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung.....	44

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vergleich der Lufttemperaturen (Monatsmittel) und Niederschläge (Monatssummen) in den Monaten September 1999 bis August 2000 (Wetterstation Gladbacherhof) mit langjährigen Mittelwerten (1961-1990) (Klimastation Limburg/Lahn-Offheim)	10
Abb. 2: Zusammensetzung des Feldfutters und des Grünbracheaufwuchses an den vier Schnitterminen 1999	19
Abb. 3: Stickstoffmengen im Spross des Feldfutters und der Grünbrache an den vier Schnitterminen 1999	20
Abb. 4: Bohnen- und Stroherträge der Ackerbohnen sowie Beikrautaufwuchs am 02.09.99 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung	20
Abb. 5: Stickstoffmengen von Bohnen, Stroh und Beikraut am 02.09.99 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	21
Abb. 6: Nitratgehalte des Bodens in verschiedenen Tiefen am 01.11.99 in Abhängigkeit von der Vorfrucht	23
Abb. 7: Nitratgehalte des Bodens in verschiedenen Tiefen am 01.11.99 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	24
Abb. 8: Nitratgehalte des Bodens in verschiedenen Tiefen am 13.03.00 in Abhängigkeit von der Vorfrucht	24
Abb. 9: Nitratgehalte des Bodens in verschiedenen Tiefen am 13.03.00 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	25
Abb. 10: N_{\min} -Gehalte des Bodens am 13.03.00 (0-90 cm) in Abhängigkeit von der Vorfrucht	26
Abb. 11: N_{\min} -Gehalte des Bodens am 13.03.00 (0-90 cm) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	26
Abb. 12: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Krume (0-30 cm) vom 13.03.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Vorfrucht	27
Abb. 13: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Krume (0-30 cm) vom 13.03.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	28
Abb. 14: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Oberkrume (0-15 cm) vom 06.04.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Vorfrucht	29

Abb. 15: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Unterkrume (15-30 cm) vom 06.04.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Vorfrucht	29
Abb. 16: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Oberkrume (0-15 cm) vom 06.04.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	30
Abb. 17: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Unterkrume (15-30 cm) vom 06.04.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	31
Abb. 18: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Tiefe 30-60 cm vom 13.03.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Vorfrucht	32
Abb. 19: Veränderung der N_{\min} -Gehalte in der Tiefe 30-60 cm zwischen dem 13.03.00 und dem 06.04.00 in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung	32
Abb. 20: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Tiefe 30-60 cm vom 13.03.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	33
Abb. 21: Dynamik der Sprossmassebildung des Weizens in Abhängigkeit von der Vorfrucht.	34
Abb. 22: Dynamik der Sprossmassebildung des Weizens in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	35
Abb. 23: Dynamik der Stickstoffaufnahme des Sprosses in Abhängigkeit von der Vorfrucht	38
Abb. 24: Dynamik der Stickstoffaufnahme des Sprosses in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	38
Abb. 25: Anzahl an Körnern pro Ähre in Abhängigkeit von der Vorfrucht	41
Abb. 26: Anzahl an Körnern pro Ähre in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	41
Abb. 27: Tausendkornmasse des Weizens in Abhängigkeit von der Vorfrucht	42
Abb. 28: Tausendkornmasse des Weizens in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	42

1 Einleitung und Problemstellung

Eine gezielte Versorgung der Kulturpflanzen mit Stickstoff, wie sie über Mineraldüngergaben möglich ist, kann im Ökologischen Landbau nicht verwirklicht werden. Dieser verzichtet bewusst auf den Einsatz leichtlöslicher Dünger und wählt statt dessen andere Wege **dem Boden** Stickstoff zuzuführen. Hier wird ein wesentlicher Unterschied zwischen der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft deutlich. Düngen bedeutet bei letzterer in erster Linie nicht die Pflanze, sondern den Boden zu versorgen. Dabei erfolgt die Ernährung der Pflanze über die Aktivität des Bodenlebens. Boden und Pflanze werden als System betrachtet (HERRMANN & PLAKOLM, 1991). Im Ökologischen Landbau kommt dem organisch gebundenen Stickstoff im Boden bei der N-Versorgung der Kulturpflanze eine besondere Rolle zu. Im Gegensatz zum anorganisch gebundenen Mineraldünger-N, der von den Pflanzen nach der Ausbringung in der Regel direkt verwertet werden kann, muss dieser Stickstoff über den Prozess der Mineralisation zunächst in eine pflanzenverfügbare Form überführt werden. Für das Pflanzenwachstum ist entscheidend, zu welchem Zeitpunkt und in welchen Mengen Stickstoff auf diesem Weg bereitgestellt wird. Möglichkeiten, den Umfang der Mineralisation und darüber die N-Versorgung der Pflanzen zu steuern, bestehen in der Anwendung ackerbaulicher Maßnahmen. Dazu gehören die Fruchtfolgegestaltung sowie die Bodenbearbeitung.

Bei der Fruchtfolgegestaltung im Ökologischen Landbau kommt dem Anbau von Leguminosen eine entscheidende Funktion zu. Durch ihre Fähigkeit Luftstickstoff zu binden und ihn in Form organischer Verbindungen im Boden anzureichern, können diese Pflanzen die N-Versorgung nachfolgender Kulturen positiv beeinflussen.

Bei der Bodenbearbeitung kommt u.a. der Eingriffsintensität eine Wirkung auf den Umfang der Mineralisationsprozesse im Boden zu.

Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Arbeit untersucht, welchen Einfluss verschiedene legume Vorfrüchte sowie differenzierte Formen der Bodenbearbeitung auf den Stickstoffhaushalt des Bodens und insbesondere die N-Freisetzung haben. Als Vorfrüchte dienten dabei Luzernegras-Futterbau, Luzernegras-Grünbrache sowie Ackerbohnen. Die Bodenbearbeitung beinhaltete die drei Varianten Pflug, Zweischiichtenpflug sowie Schichtengrubber mit Rotoregge. Im Versuchsjahr wurde der Einfluss dieser beiden Faktoren auf verschiedene Boden- und Pflanzenparameter beim Anbau von Winterweizen untersucht. Schwerpunkte waren dabei die N-Dynamik und N-Mineralisation im Boden sowie die Stickstoffaufnahme und Ertragsbildung des Weizens.

2 Literaturübersicht

2.1 Der Stickstoff im Boden

2.1.1 Die Bindungsformen des Stickstoffs

Der Gesamtstickstoffgehalt der Böden schwankt in weiten Grenzen. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1989) beträgt die N-Konzentration im Ap-Horizont von Ackerböden im gemäßigten Klimabereich 0,1 - 0,2 %, was bei einer Rohdichte des Bodens von $1,5 \text{ g/cm}^3$ 3000 - 6000 kg N/ha entspricht. MENGEL (1991) beziffert die Gesamtstickstoffvorräte von Ackerböden in der gemäßigten Zone bis zu einem Meter Tiefe auf 2000 - 10000 kg/ha.

Der überwiegende Teil dieses Gesamtvorrates (>90 %) liegt in organischen Bindungsformen vor. Zwei Drittel als Aminosäure- und Amid-N, der Rest als Aminosucker, Nucleinsäuren oder heterozyklisch gebundener N in Dauerhumusformen. Der Humus stellt die große Stickstoffreserve der Böden dar (AMBERGER, 1996).

Der anorganisch gebundene Stickstoff hat demnach nur einen geringen Anteil am Gesamtstickstoffgehalt des Bodens. Er liegt vornehmlich als Nitrat und Ammonium vor. Diese Fraktion dient den Pflanzen als Stickstoffquelle.

Der Stickstoff im Boden ist verschiedenen Umwandlungsprozessen unterworfen. Ein für das Pflanzenwachstum wichtiger Vorgang ist die Umwandlung organischer Stickstoffverbindungen zum anorganischen Nitrat (Mineralisation). Die jährliche Mineralisationsrate liegt bei 1 bis 5 % des organischen Stickstoffs. Für Mineralböden entspricht das einer Menge von 40 bis 120 kg N/ha (AMBERGER, 1996).

Der Mobilisierung von Stickstoff steht der Prozess der Immobilisierung gegenüber, bei dem der lösliche Stickstoff wiederum in organische Substanz (Mikroorganismen, Humus) überführt wird und der Pflanze damit nicht mehr zur Verfügung steht (MENGEL, 1991).

Ein weiterer Prozess ist die Denitrifikation, bei dem der Nitratstickstoff reduziert wird und als N_2O bzw. N_2 aus dem Boden entweicht. Die Denitrifikation stellt, neben der Auswaschung von Nitrat, einen Verlustpfad für Stickstoff dar.

2.1.2 Einflussfaktoren der Stickstoffmineralisation

Der Prozess der Stickstoffmineralisation gliedert sich in Ammonifikation und Nitrifikation. Dabei wird der Stickstoff aus der organischen Substanz zuerst von den Ammonifikanten zu NH_3 reduziert und später von den Nitrifikanten zu Nitrat oxidiert (MENGEL, 1991).

Die Mineralisation ist somit an das Vorhandensein von Mikroorganismen gebunden. Vorkommen und Aktivität der Mikroorganismen werden durch die im Boden vorherrschenden Lebensbedingungen reguliert. Dazu gehören das Nahrungsangebot, die Bodentemperatur, der Bodenluft- und -wasserhaushalt sowie der pH-Wert (DORAN, 1980, MENGEL, 1991).

Das Nahrungsangebot der Mikroorganismen wird maßgeblich durch die von der Vorfrucht zurückgelassenen Ernte- und Wurzelrückstände bestimmt. Dabei ist nicht nur die Menge sondern auch die Qualität der Rückstände von Bedeutung. Ein wichtiger Parameter, der über die Abbaubarkeit bestimmt, ist das C/N-Verhältnis (GUTSER & VILSMEIER, 1988).

Mit steigender Temperatur nimmt die mikrobielle Aktivität bis zu einem Maximalwert zu. Die Nitrifikation hat ihr Optimum bei 25 - 35 °C, die Ammonifikation erst bei 50 - 70 °C (BECK, 1979).

Bei der Nitrifikation wird der Ammoniumstickstoff zu Nitrat oxidiert, so dass für diesen Teilschritt der Mineralisation Sauerstoff unentbehrlich ist. Eine gute Durchlüftung der Böden wirkt sich daher positiv aus. Die Durchlüftungsverhältnisse im Boden sind eng mit dem Wassergehalt verknüpft. Nach LINN & DORAN (1984) liegt das Optimum für die mikrobielle Aktivität bei etwa 60 % wassergefülltem Porenraum. Darunter tritt verstärkt Wasserdarüber Luftmangel auf, der bei Wassergehalten über 80 % zu einem starken Anstieg der Verluste über die Denitrifikation führt.

Im durchschnittlichen pH-Bereich der Kulturböden ist der pH-Einfluss auf die Mineralisation gering. Der Prozess der Ammonifikation reagiert insgesamt unempfindlich auf ein Absinken des pH-Wertes. Die Nitrifikation wird dagegen unter pH 6 abgeschwächt und etwa ab pH 4 so gut wie vollständig unterbunden (MENGEL, 1991).

2.2 Einfluss legumer Vorfrüchte und unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die Stickstoffnachlieferung des Bodens und den Ertrag von Getreide

2.2.1 Einfluss legumer Vorfrüchte

Leguminosen spielen als Vorfrüchte durch ihre Fähigkeit Luftstickstoff zu binden und den Boden dadurch mit Stickstoff anzureichern eine besondere Rolle. Die Ernte- und Wurzelrückstände dieser Pflanzen sind in aller Regel stickstoffreich und besitzen ein enges C/N-Verhältnis, wodurch der mikrobielle Abbau und damit die N-Freisetzung zügig verläuft. So werden Rückstände von Leguminosen schneller mineralisiert als etwa Getreidestroh (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1989). Der N-Gewinn, der durch den Anbau von Leguminosen im Gegensatz zu Nichtleguminosen stattfindet, spiegelt sich häufig auch in einem höheren Ertrag von nachgebaumtem Getreide wider. So fand HUBER (1988) höhere Weizenerträge nach Ackerbohnen als nach Silomais. ARMSTRONG et al. (1997) berichten von höheren Weizenerträgen nach Lupinen und Erbsen im Vergleich zur Vorfrucht Gerste. Zwischen der N-Vorfruchtwirkung der Leguminosenarten existieren Unterschiede. So fand HEINZMANN (1981) nach Futterleguminosen meist höhere Getreideerträge als nach Körnerleguminosen.

2.2.2 Einfluss der Bodenbearbeitung

Die Bearbeitung des Bodens ist mit einem Eingriff in den Wasser- und Lufthaushalt verbunden, wodurch die mikrobielle Aktivität und somit auch die Freisetzung von Stickstoff beeinflusst wird. Die Intensität der Bodenbearbeitung spielt dabei eine wichtige Rolle (KAHNT, 1995). Der Abbau von organischer Substanz und damit die Freisetzung von Stickstoff ist um so stärker, je intensiver die Bodenbearbeitung erfolgt. Umgekehrt nimmt die Verfügbarkeit von Stickstoff bei einer Verminderung der Bearbeitungstiefe und/oder -intensität ab (BRAUN, 1980). So ist nach dem Einsatz des Pfluges aufgrund der Zunahme des Grobporenanteils die Luftkapazität des Bodens erhöht (KAHNT, 1995). Bei reduzierter Bodenbearbeitung nimmt der Gesamt- und Grobporenanteil hingegen ab, was zu einer Verringerung der Luftkapazität führt. Dadurch kann es zu einer Beeinträchtigung der mikrobiellen Aktivität kommen (RICHTER, 1995). Der Autor stellt aber gleichzeitig fest, dass

aufgrund der hohen Kontinuität der noch vorhandenen Poren nicht auf allen Standorten mit einer verringerten Luftkapazität gerechnet werden muss.

Eng gekoppelt mit dem Wasser- und Lufthaushalt der Böden ist deren Temperatur, die wiederum die mikrobielle Aktivität stark beeinflusst (BIEDERBECK & CAMPBELL, 1973). Die Geschwindigkeit der Erwärmung eines Bodens ist abhängig von seinem Wassergehalt. Gepflügte Böden mit einem hohen Anteil an luftgefüllten Poren erwärmen sich schneller als reduziert bearbeitete. So stellten BRODER et al. (1984) während des Frühjahrswachstums von Winterweizen eine um 1 - 2 °C geringere Bodentemperatur bei Direktsaat und Minimalbodenbearbeitung gegenüber der gepflügten Variante fest. Durch die langsamere Erwärmung des Bodens nach reduzierter Bearbeitung kann es im Frühjahr zu einer verzögerten N-Freisetzung kommen (HANUS, 1979). So fanden KOHL & HARRACH (1991) im Frühjahr deutlich höhere Nitratkonzentrationen nach einer herbstlichen Pflugbearbeitung als nach der Bearbeitung mit einem Flügelschargrubber. Eine stärkere N-Freisetzung nach intensiver Bodenbearbeitung wird jedoch nicht immer beobachtet. So fanden RICHNER & RIEGER (1998) keine geringere N-Mineralisation durch eine fehlende Bodenlockerung. Untersuchungen von RICHTER (1995) ergaben, dass eine Bearbeitung des Bodens nicht unbedingt mit hohen N_{\min} -Gehalten in der Bodenlösung verbunden sein muss.

Der Faktor Zeit scheint für den Umfang der NNachlieferung eine Rolle zu spielen. So kommt es bei langfristig reduzierter Bodenbearbeitung durch die Akkumulation von organischem Stickstoff zu einem neuen Fließgleichgewicht organischer Umsetzungsprozesse, woraus eine erhöhte N-Freisetzung resultiert (BAEUMER, 1984).

Die Einflüsse, die durch die Art der Bodenbearbeitung auf den Ertrag von Getreide ausgehen, waren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. BECKER & KOCH (1997) stellten bei reduzierter Bearbeitung tendenziell niedrigere Winterweizenerträge fest. Bei Triticale ergab sich kein einheitliches Bild. BAEUMER (1985) fand nach Direktsaat im Vergleich zum Pflug signifikant höhere Winterweizenerträge und Ertragsgleichheit bei Wintergerste, wohingegen HOFMANN et al. (1993) keine Ertragsunterschiede für diese beiden Kulturen nach einer differenzierten Bodenbearbeitung feststellte.

2.3 Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau

Mit der Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau werden prinzipiell die gleichen Ziele verfolgt wie in der konventionellen Landwirtschaft. Dazu gehören die Lockerung des Bodens, die Verbesserung des Wasser-, Luft-, und Wärmehaushaltes, das Regulieren von Konkurrenzpflanzen, das Einmischen von Ernte- und Wurzelrückständen sowie das Herstellen eines geeigneten Saatbettes für die Kulturpflanzen (ESTLER, 1995). Einer optimalen Bodenbearbeitung kommt im Ökologischen Landbau jedoch ein besonderer Stellenwert zu, da hier, im Gegensatz zur konventionellen Landwirtschaft, etwaige Fehler nicht durch den Einsatz von Mineraldüngern bzw. Pflanzenschutzmitteln ausgeglichen werden können (SIEBENEICHER, 1993).

Auf vielen ökologisch wirtschaftenden Betrieben ist für die Grundbodenbearbeitung der jährliche Einsatz des Pfluges nach wie vor das Mittel der Wahl (HERRMANN & PLAKOLM, 1991). Der Pflug besitzt eine gute beikrautregulierende Wirkung, was gerade im Ökologischen Landbau von großer Bedeutung ist. Der Nachteil des Pflügens liegt jedoch in der Störung der natürlichen Schichtung des Bodens. Der humose Oberboden wird in der Furche abgelegt und wenig humoser Unterboden kommt an die Oberfläche. Dadurch wird zum einen die Stabilität und Gare des Bodens negativ beeinflusst, zum anderen wird durch die Vermischung der natürlichen Bodenschichten das Bodenleben gestört (HAMPL, 1995).

Um diese Nachteile zu vermeiden, ist bei der Bearbeitung des Bodens eine weitgehende Erhaltung der natürlichen Schichtung anzustreben. Eine Unterscheidung und unterschiedliche Behandlung von Ober- und Unterkrume ist vorzunehmen. Die Oberkrume wird dabei nur flach bearbeitet, wobei organische Substanz oberflächennah eingemischt wird. Die Unterkrume wird tief gelockert, was die Voraussetzung für eine intensive Durchwurzelung der Kulturpflanzen schafft (HERRMANN & PLAKOLM, 1991).

Ein für diesen Zweck geeignetes Verfahren stellt die Kombination von Schichtengrubber und Rotoregge dar. Der Schichtengrubber lockert den Boden mit Flügelscharen bis auf Krumentiefe ohne ihn dabei nach oben zu befördern. Die nachfolgende Rotoregge krümelt und mischt die Oberkrume (HAMPL, 1995).

Ein Problem dieser nicht wendenden Bodenbearbeitung besteht in dem erhöht auftretenden Beikrautdruck, dem man im Ökologischen Landbau nicht mit dem Einsatz von Herbiziden begegnen kann.

Eine Möglichkeit, die beikrautregulierende Wirkung des Pfluges mit einer schichterhaltenden Bodenbearbeitung zu kombinieren, bietet der Zweischichtenpflug. Bei diesem Verfahren wird der Boden nur flach gewendet, wodurch Beikräuter reguliert werden. Gleichzeitig lockert ein weiteres Schar den Boden bis auf Krumentiefe ohne ihn dabei nach oben zu befördern (HAMPL, 1995).

2.4 Weizen im Ökologischen Landbau

2.4.1 Bedeutung

Weizen stellt eine der bedeutendsten Kulturpflanzen in der ökologischen Landwirtschaft dar. Dies liegt zum einen an den hohen Verkaufserlösen, die mit dieser Getreideart erzielt werden können, zum anderen aber auch an der Möglichkeit den Weizen in Form von Brot oder aufbereiteter Ernteware direkt zu vermarkten. Oft muss der Weizen die zum Teil geringeren Verkaufserlöse anderer Kulturen, welche zur Aufrechterhaltung der Produktivität der Fruchtfolge angebaut werden, ausgleichen.

2.4.2 Besonderheiten des Anbaus und der Ertragsbildung

Der Weizenanbau im Ökologischen Landbau unterscheidet sich in einigen Aspekten von dem in der konventionellen Landwirtschaft. So ist die Stellung des Weizens in der Fruchtfolge von ganz besonderer Bedeutung. Nach HERRMANN & PLAKOLM (1991) sollte der Weizen nach aufbauenden, stickstoffsammelnden Kulturen wie Körnerleguminosen, Futterbau oder Grünbrache stehen. Neben der Stickstoffversorgung wird über die Fruchtfolge auch der Krankheits- und Beikrautdruck beeinflusst. So ist durch mehrjährige Anbaupausen der Befall mit Fußkrankheiten zu vermindern. Das Auftreten von Beikräutern lässt sich durch geeignete Vorfrüchte wie dem mehrjährigen Feldfutterbau stark reduzieren (SIEBENEICHER, 1993).

Bei der Sortenwahl sollten mittel- bis langstrohige Sorten gegenüber kurzstrohigen bevorzugt werden, da sie eine höhere Konkurrenzkraft gegenüber Beikräutern besitzen (STOEPLER, 1988). Nach HERRMANN & PLAKOLM (1991) besitzen die langstrohigen

Sorten auch ein besser ausgeprägtes Wurzelwerk und zeigen eine geringere Anfälligkeit gegenüber Krankheiten. Allerdings zeigt sich, dass alte hochwachsende Sorten den modernen Hochzuchtsorten ertraglich häufig unterlegen sind. So wird auch im Ökologischen Landbau in vielen Fällen auf moderne Sorten zurückgegriffen (STOEPLER, 1988).

Die Ertragsbildung des ökologisch angebauten Weizens wird durch die besondere Ernährungslage mit Stickstoff beeinflusst. Nach STOEPLER (1988) sind Sorten zu bevorzugen, die ihren Ertrag primär über die Kornzahl pro Ähre und die Tausendkornmasse aufbauen. Der Vorteil dieser „Ährentypen“ liegt darin, dass sie den verfügbaren Stickstoff in erster Linie zum Aufbau der Ährenanlage und weniger für die Bestockungstriebe verwenden. Bei einer zunehmenden Erwärmung des Bodens und einer damit einhergehenden erhöhten N-Freisetzung im späteren Abschnitt der Vegetation, werden dann die gut ausgebildeten Ährenanlagen effektiv gefüllt. Dagegen legen Sorten, die eine hohe Bestockungsneigung besitzen („Bestandestypen“) viele Bestockungstriebe an, die jedoch bei mangelnder N-Nachlieferung im Frühjahr wieder reduziert werden. Diese Sorten müssen dann den Ertrag verstärkt über die Ähre aufbauen (HERRMANN & PLAKOLM, 1991).

2.4.3 Stickstoffdynamik unter Weizen

Der im Herbst gesäte Weizen weist bis zum Winter keine großen Zuwachsraten auf. HOFFMANN & RICHTER (1988) beziffern die vorwinterliche N-Aufnahme mit ca. 10 kg/ha. Die Freisetzung von Stickstoff kann in diesem Zeitraum, in Abhängigkeit von der Vorfrucht und den klimatischen Bedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur), erheblich sein. Es kommt zu einem Anstieg der Nitratkonzentration im Boden. In der winterlichen Sickerwasserperiode unterliegt dieser Stickstoff dann der Verlagerung in tiefere Schichten bzw. der Auswaschung. Besonders nach dem Umbruch von Leguminosen, die im Ökologischen Landbau in der Regel vor Weizen stehen, können, in Abhängigkeit von Umbruchtermin und Witterungsbedingungen, größere Mengen an Stickstoff mineralisiert und verlagert werden (HEß, 1989).

Zu Vegetationsbeginn im Frühjahr liegen demzufolge im Krumbereich meist geringe Nitratgehalte vor. In dieser Zeit kann die Stickstoffversorgung zögerlich verlaufen. HEß & KLEIN (1987) sprechen in diesem Zusammenhang von der „N-Frühlückelücke“.

Der verlagerte Stickstoff muß jedoch nicht verloren sein. Im Laufe der weiteren Pflanzenentwicklung kann er je nach Verlagerungstiefe noch von den Wurzeln erreicht werden. Bei einer Verlagerung unter den Bereich der Wurzelzone ist auf tiefgründigen

Standorten mit hoher Kapillarität auch ein Aufsteigen des Stickstoffs mit dem Wasser in den Wurzelbereich möglich (GUTSER & TEICHER, 1988). Der weitere Verlauf der Nitratkonzentration wird durch die vorherrschenden Witterungsbedingungen und in steigendem Maße auch durch den N-Entzug des Weizens geprägt. So beobachtete AICHBERGER (1982) von März bis April unter ungedüngten Winterweizenparzellen einen leichten Abfall der Nitratkonzentration aufgrund des pflanzlichen Entzuges. Nachfolgend stiegen die Werte bis Ende April, Anfang Mai aufgrund der durch zunehmende Temperaturen verursachten erhöhten mikrobiellen Aktivität wieder leicht an.

Die Phase des Schossens ist mit einem starken Stickstoffentzug durch den Weizen verbunden, was zu einer steten Abnahme der Nitratkonzentration im Boden führt (BECK, 1979). Die Nitratgehalte bleiben dann im weiteren Verlauf auf einem niedrigen Niveau. Erst mit beginnender Abreife des Weizens kommt es zu einem erneuten Ansteigen der Nitratkonzentration im Boden (AICHBERGER, 1982).

3 Material und Methoden

3.1 Standort und Witterung

Als Versuchsstandort diente der Lehr- und Versuchsbetrieb für Ökologischen Landbau der Universität Giessen, Gladbacherhof, in der Nähe von Weilburg, Kreis Limburg. Der Bodentyp der Versuchsfläche variiert von einer Pararendzina bis zu einer erodierten Parabraunerde auf Löss. Die Bodenart ist sandiger Lehm bis Lehm, die Ackerzahl 66.

Die chemischen Bodeneigenschaften der Versuchsfläche sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Chemische Bodeneigenschaften der Versuchsfläche.
Die Daten beziehen sich auf die Krume (0-30 cm)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Minimum	Maximum
pH (CAL)	-	7,01	5,99	7,58
P ₂ O ₅ (verfügbar)	mg/100 g	17,5	7	31
K ₂ O(verfügbar)	mg/100 g	13,31	7	28
Mg (verfügbar)	mg/100 g	13,48	8	20
N _t	mg/g	1,42	1,24	1,6
CO ₃ -C	mg/g	2,09	0	8,17
C _{org}	mg/g	12,56	10,28	14,17
C/N	-	8,87	7,78	10,35

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge liegt bei 682 mm, die mittlere Jahrestemperatur bei 9,3 °C. Ein Vergleich der monatlichen Niederschlags- und Temperaturdaten zwischen September 1999 und August 2000 mit langjährigen Durchschnittswerten zeigt Abbildung 1.

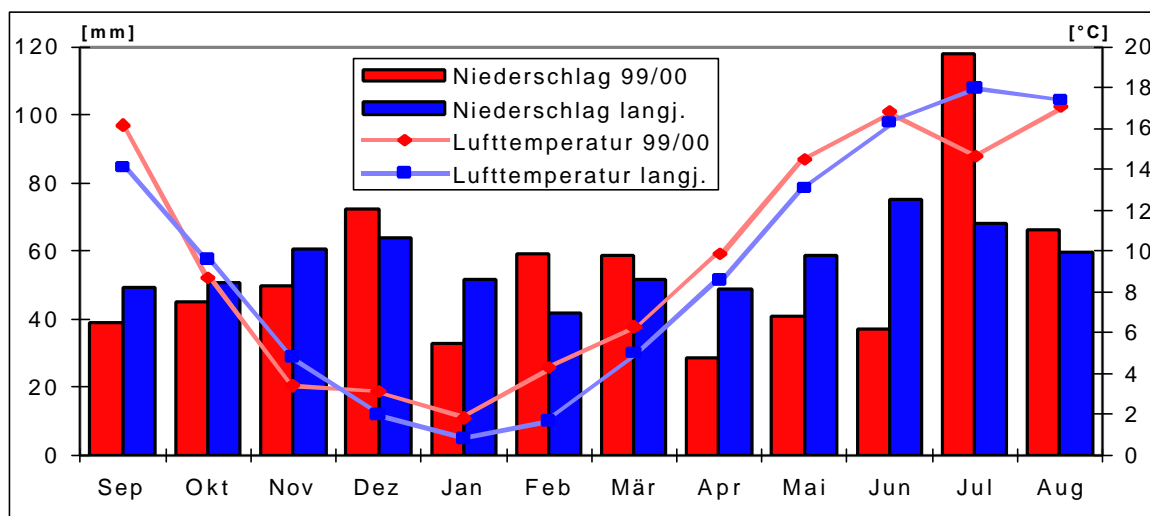


Abb. 1: Vergleich der Lufttemperaturen (Monatsmittel) und Niederschläge (Monatssummen) in den Monaten September 1999 bis August 2000 (Wetterstation Gladbacherhof) mit langjährigen Mittelwerten (1961-1990) (Klimastation Limburg/Lahn-Offheim)

Die mittlere Temperatur im Zeitraum September 1999 bis August 2000 betrug 9,7 °C. Die Niederschlagssumme lag bei 649 mm. Die Temperaturen lagen somit etwas über dem langjährigen Mittel, die Niederschläge etwas darunter.

Der Winter 1999/2000 war relativ mild, mit durchschnittlichen Niederschlägen. Der weitere Witterungsverlauf bis Juni war, verglichen mit dem langjährigen Mittel, durch relativ hohe Temperaturen sowie geringe Niederschläge gekennzeichnet. Der Juli war kühl und brachte ergiebige Regenfälle.

3.2 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung

Der Feldversuch wurde im Frühjahr 1998 als langfristiger Fruchtfolge-Bodenbearbeitungs-Versuch angelegt. Insgesamt werden drei sechsfeldrige Fruchtfolgen sowie vier Bodenbearbeitungsvarianten untersucht. Der Versuch ist als Spaltanlage, mit dem Großparzellenfaktor Fruchtfolge und dem Kleinparzellenfaktor Bodenbearbeitung, in vierfacher Wiederholung angelegt. Die Gesamtfläche des Versuches liegt bei ca. 1,2 ha. Die Größe der Kleinparzellen beträgt 126 m². Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit ist der Zeitraum Herbst 1999 bis Sommer 2000 mit der Kultur Winterweizen. In Tabelle 2 sind die Faktoren des Versuches mit den dazugehörigen Faktorstufen aufgeführt. Diese werden anschließend noch näher charakterisiert.

Tab. 2: Faktoren und Faktorstufen des Feldversuches

Faktoren	Faktorstufen
Fruchtfolge (Vorfrucht)	(a1) Feldfutter (Luzernegras) (a2) Grünbrache (Luzernegras) (a3) Ackerbohnen
Bodenbearbeitung	(b1) Pflug (b2, b3) Zweischichtenpflug (b4) Schichtengrubber mit Rotoregge

3.2.1 Faktor Fruchtfolge (Vorfrucht)

Die Vorfrüchte des Versuches wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten etabliert. Einen Überblick über die Fruchtfolge seit 1998 gibt Tabelle 3.

Tab. 3: Die Fruchtfolge des Feldversuches seit 1998 im Überblick

Jahr	a1	a2	a3
1998	Sommerweizen	Sommerweizen	Sommerweizen
	Untersaat	Untersaat	Stoppelsaat
	⇒ Luzernegras	⇒ Luzernegras	⇒ Leg./Nichtleg.-Gem.
1999	Luzernegras	Luzernegras	Ackerbohnen
	(Feldfutter)	(Grünbrache)	Untersaat
			⇒ Gras
2000	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen

a1: Feldfutter

Das Luzernegras wurde am 01.04.98 als Untersaat in Sommerweizen gesät. Am 14.05.98 wurde der Weizen geschnitten und abgefahren. Im Jahr 1998 erfolgten noch zwei, im Jahr 1999 insgesamt vier Schnitte des Luzernegrases, jeweils mit nachfolgendem Abfahren der Biomasse.

a2: Grünbrache

Das Luzernegras wurde am 01.04.98 als Untersaat in Sommerweizen gesät. Der Bestand wurde am 09.08.98 zur Ernte des Weizens geschnitten und das Stroh abgefahren. Im Jahr 1998 erfolgte noch ein, im Jahr 1999 vier Mulchschnitte. Die Biomasse verblieb dabei jeweils auf dem Feld.

a3: Ackerbohnen

Die Ernte des Sommerweizens erfolgte am 15.08.98. Am gleichen Tag wurde die Zwischenfrucht gesät. Die Saat der Ackerbohnen war am 20.04.99. Am 09.06.99 erfolgte die Grasuntersaat. Die Ackerbohnenenernte war am 02.09.99.

(Detaillierte Angaben über Art und Zeitpunkt sämtlicher die Vorfrüchte betreffenden Maßnahmen der Jahre 1998 und 1999 sind dem Anhang zu entnehmen)

3.2.2 Faktor Bodenbearbeitung

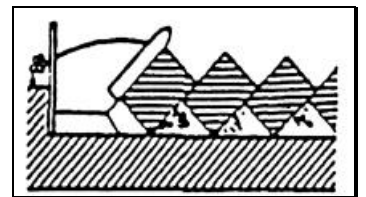
In den vier Bodenbearbeitungsvarianten wurden für die Grundbodenbearbeitung die drei Geräte Pflug (b1), Zweischichtenpflug (b2 und b3) und Schichtengrubber mit Rotoregge (b4) eingesetzt.

Die Verfahren unterscheiden sich zum einen im Hinblick auf wendende und nicht wendende Arbeitsweise, zum anderen in der Eingriffsintensität in den Boden. Die Varianten b1, b2 und b3 sind der wendenden, die Variante b4 der nicht wendenden Bodenbearbeitung zuzuordnen. Die Eingriffsintensität ist in b1 am größten und nimmt über b2 und b3 zu b4 ab. Die Varianten b2, b3 und b4 sind Verfahren der Zweischichtbodenbearbeitung.

Die Arbeitsweise der Geräte soll im folgenden kurz charakterisiert werden:

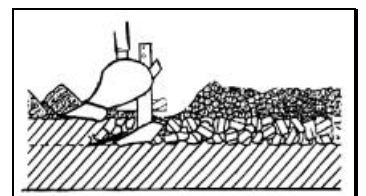
b1: Pflug

Durch den Pflug wird der Boden auf 30 cm gewendet und dabei intensiv gelockert. Die auf der Bodenoberfläche befindliche organische Substanz wird in der Furche abgelegt und vergraben.



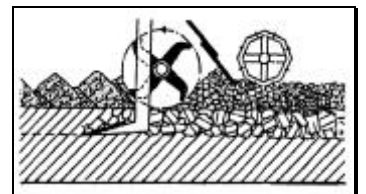
b2 und b3: Zweischichtenpflug

Der Zweischichtenpflug wendet den Boden bis zu einer Tiefe von 15 cm. Die organische Substanz der Bodenoberfläche wird flach vergraben. Durch ein zusätzliches Schar wird der Boden bis zu einer Tiefe von 30 cm aufgebrochen und gelockert, aber nicht gewendet.



b4: Schichtengrubber mit Rotoregge

Flügelschare brechen den Boden bis zu einer Tiefe von 30 cm auf. Dadurch wird er grob gelockert aber nicht gemischt. Die Rotoregge bewirkt ein intensives Krümelnd der oberen Bodenschicht (15 cm) sowie ein Einmischen von organischer Substanz. Durch die nachlaufende Packerwalze wird der Boden rückverfestigt.



Die Einordnung der beschriebenen Verfahren in die Bodenbearbeitungsmaßnahmen der Jahre 1998 und 1999 wird im folgenden dargestellt:

In a3 wurde schon im Jahr 1998 eine differenzierte Grundbodenbearbeitung durchgeführt. Diese erfolgte in b2 und b3 mit dem Zweischichtenpflug und in b4 mit Schichtengrubber und Rotoregge, jeweils nach der Ernte des Sommerweizens (15.08.98).

Die Grundbodenbearbeitung in b1 erfolgte zum Umbruch der nach Sommerweizen angebauten Zwischenfrucht in Form einer tiefen Pflugfurche (30 cm) (21.11.98). In b2 wurde der Umbruch der Zwischenfrucht am gleichen Termin mittels einer flachen Pflugfurche (15 cm) durchgeführt.

In b3 und b4 erfolgte der Umbruch der abgefrorenen Zwischenfrucht durch eine Bearbeitung mit der Rotoregge im zeitigen Frühjahr (18.03.99).

Im Jahr 1999 wurde in sämtlichen Vorfruchtvarianten eine differenzierte Bodenbearbeitung vorgenommen. Einen Überblick über die durchgeführten Maßnahmen gibt Tabelle 4.

Tab. 4: Die Varianten der Bodenbearbeitung des Jahres 1999 im Überblick

Datum u. Maßnahme	b1	b2	b3	b4
	tief wendende Bodenbearbeitung	Zweischichtbodenbearbeitung		
27.09.99 16.10.99 Umbruch (Luzernegras, Ackerbohnen)	lockern u. mischen (Rotoregge, Saatbett-kombination)	lockern u. mischen (Rotoregge, Saatbett-kombination)	lockern u. mischen (Rotoregge, Saatbett-kombination)	lockern u. mischen (Rotoregge, Saatbett-kombination)
18.-19.10.99 Grundbodenbearbeitung	wenden bis 30 cm (Pflug)	wenden bis 15 cm, lockern bis 30 cm (Zweischichtenpflug)	wenden bis 15 cm, lockern bis 30 cm (Zweischichtpflug)	mischen bis 15 cm, lockern bis 30 cm (Schichtengrubber mit Rotoregge)
19.10. Saatbettbereitung (Weizen)	Kreiselegge			

(Detaillierte Angaben über Art und Zeitpunkt sämtlicher die Bodenbearbeitung betreffenden Maßnahmen der Jahre 1998 und 2000 sind dem Anhang zu entnehmen)

3.2.3 Anbaudaten des Winterweizens

Die Anbaudaten des Winterweizens sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tab. 5: Anbaudaten des Winterweizens

Sorte	Winterweizen RENAN, Z-Saatgut (ungebeizt)
Saat	20.10.99 Betriebsdrillmaschine, Reihenabstand 15 cm ca. 350 Körner/m ²
Beikraut- regulierung	10.04.00 Egge
Pflanzenschutz	ohne Pflanzenschutzmaßnahmen
Düngung	keine
Ernte	01.08.00 Parzellenmähdrescher

3.3 Probenahme und Analytik der Boden- und Pflanzenproben

Eine Übersicht aller Probenahme- und Boniturtermine der Jahre 1999/2000 gibt Tabelle 6.

Tab. 6: Probenahme- und Boniturtermine 1999/2000

Untersuchungsparameter	Datum
N_{min}- Gehalt des Bodens	01.11.99: 0-90 cm 13.03.00: 0-90 cm 06.04.00: 0-60 cm (ohne b3) 16.05.00: 0-30 cm (ohne b3) 26.06.00: 0-30 cm (ohne b3) 03.08.00: 0-60 cm (ohne b3)
Sprossmassebildung und N-Aufnahme des Weizens	07.04.00; 18.05.00; 27.06.00; 20.07.00
Keimdichte	16.11.99
Bestandesdichte	20.07.00

3.3.1 Bodenproben

Zur Bestimmung der Nitrat- und Ammoniumgehalte des Bodens wurden von November 1999 bis August 2000 an sechs Terminen (Tab. 6) Bodenproben gezogen. Die Variante b3 wurde nur am 01.11.99 und 13.03.00 beprobt.

Die Entnahme der Proben erfolgte mit Hilfe eines Bohrstocksets (Fa. Stitz, Hannover) an zwei Stellen, ca. 1-2 m vom Rand der Parzellen entfernt. Für die Entnahme der Proben aus der Bodentiefe 0-30 cm wurden pro Parzelle insgesamt acht Einstiche vorgenommen. Um Effekte der Zweischichtbodenbearbeitung erkennbar zu machen, wurde diese Schicht zwischen dem 06.04.00 und dem 03.08.00 in die Bereiche 0-15 cm und 15-30 cm unterteilt und getrennt beprobt. Um sicher zu gehen, dass die Proben auch aus der jeweiligen Schicht stammten wurde aus dem Bohrkern nur der Tiefenbereich 0-12 cm bzw. 17-25 cm entnommen.

Für die Proben aus der Tiefe 30-60 cm und 60-90 cm wurden insgesamt vier Einstiche pro Parzelle vorgenommen.

Nach der Entnahme wurden die Proben in Kühltaschen zwischengelagert und zur weiteren Aufbereitung in das Feldlabor des Betriebes gebracht. Dort erfolgte die Zerkleinerung und Homogenisierung der Proben von Hand. Zur Extraktion wurden 50 g Boden zusammen mit 100 ml Kaliumsulfatlösung in PET-Flaschen gefüllt, eine Stunde auf einem Überkopfschüttler gemischt und dann filtriert. Das Filtrat wurde bis zur Analyse bei -18 °C tiefgefroren. Die Analyse von Nitrat und Ammonium erfolgte an einem Autoanalyser (Fa. Alpkem Corporation, Clackamas, Oregon).

Zur Berechnung der auf den Hektar bezogenen N_{\min} - bzw. Nitratgehalte des Bodens wurde eine Rohdichte von 1,5 g/cm³ angesetzt. Die Trockenmassebestimmung des Bodens erfolgte an 50 g Boden. Sie wurde für jede Parzelle einzeln durchgeführt. Die Trocknung erfolgte bei 105 °C.

3.3.2 Pflanzenproben

Sprossmassebildung und Stickstoffaufnahme

Zur Ermittlung der Sprossmassebildung und Stickstoffaufnahme des Weizens wurde an vier Terminen zwischen April und Juli (Tab. 6) die oberirdische Biomasse des Weizens geerntet. Dazu wurde an vier Stellen ausserhalb des Kernbereiches der Parzelle jeweils ein Meter einer Drillreihe direkt über dem Boden abgeschnitten. Die beprobte Fläche hatte eine Größe von $0,6 \text{ m}^2$. Nach Ermittlung des Frischgewichtes wurde eine Teilprobe bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und zur Bestimmung der Trockenmasse erneut gewogen. Zur Bestimmung des N-Gehaltes der Biomasse wurde eine andere Teilprobe bei 60°C zwei Tage lang getrocknet und später mit einer Schneidmühle (Lochweite 2 mm) und anschließend mit einer Zentrifugalmühle (Lochweite 0,2 mm) zerkleinert. Die Bestimmung des N-Gehaltes der Proben erfolgte mit einem C/N-Analyser (Firma Elementar varioEL). Zur Bestimmung der Stickstoffmenge in Korn und Stroh wurde der Aufwuchs des letzten Meterschnittes in beide Komponenten getrennt.

Ertragsstruktur, Ertrag und Qualität

Die Auflaufbonitur wurde in jeder Parzelle zweimal an je einem laufenden Meter durchgeführt. Dabei wurden jeweils die gleichen Drillreihen der Sämaschine gezählt. Die Ermittlung der Bestandesdichte erfolgte zusammen mit dem letzten Meterschnitt am 20.07.00, indem die Anzahl an Ähren der geschnittenen Halme ermittelt wurde. Zusätzlich dazu wurden die Ähren im Bestand gezählt (zweimal je ein laufender Meter). Die Bestimmung der Tausendkornmasse erfolgte an den gereinigten Körnern des Mähdrusches. Die Angaben der Tausendkornmasse beziehen sich auf die Trockenmasse. Die Kornzahl pro Ähre wurde berechnet.

Die Korn- und Stroherträge wurden durch Parzellendrusch ermittelt. Dazu wurde eine Kernbeerntung durchgeführt. Die beerntete Fläche wurde vorher genau abgemessen. Sie betrug ca. 19 m^2 . Die Ermittlung der Kornerträge erfolgte nach der Reinigung (Getreidereinigung, Firma Petkus). Die Korn- und Stroherträge beziehen sich auf einen Trockenmassegehalt von 86 %.

Der Proteingehalt im Korn wurde mit dem Faktor 5,7 aus dem N-Gehalt errechnet. Die Angaben beziehen sich auf die Trockenmasse.

3.4 Berechnung der N-Netto-Mineralisation

Die N-Netto-Mineralisation (ΔMIN) beschreibt die bodenbürtige N-Nachlieferung innerhalb eines definierten Tiefenbereiches sowie eines bestimmten Zeitraumes. Da im Boden Mineralisation und Immobilisation gleichzeitig ablaufen, stellt die N-Netto-Mineralisation das Resultat beider Prozesse dar.

Die Berechnung der Stickstoff-Nettomineralisation wurde im Feldversuch für den Zeitraum März (Bodenprobe: 13.03.00) bis Ernte (Bodenprobe: 03.08.00) und den Tiefenbereich 0-90 cm vorgenommen. Folgende Formel liegt der Berechnung zugrunde:

$$\begin{aligned} & \sum (N_{\min} \text{ im Boden (Ernte 0-90 cm), N im Spross (Ernte)}) \\ & - \sum (N_{\min} \text{ im Boden (März 0-90 cm), N im Spross (März)}) \\ & = \text{DMIN} \end{aligned}$$

Da die N_{\min} -Bestimmung zur Ernte des Weizens nur den Tiefenbereich 0-60 cm erfasste, fehlte bei der Berechnung der Gehalt für die Schicht 60-90 cm. Dieser Wert konnte nur geschätzt werden. Es wurde angenommen, dass der Weizen den verfügbaren Stickstoff dieser Schicht im Laufe der Vegetation bis auf eine bestimmte Restmenge aufnimmt. Zur Abschätzung dieser Restmenge wurde der N_{\min} -Gehalt in 30-60 cm betrachtet. Hier war eine Entleerung durch pflanzlichen Entzug bis zu einem Gehalt von ca. 5 kg N_{\min} -N/ha zu beobachten. Unter der Prämisse, dass dieser Gehalt bis zum Erntezeitpunkt keiner Veränderung unterlag, wurde der Wert von 5 kg als N_{\min} -Gehalt in 60-90 cm zum Zeitpunkt der Ernte angenommen.

Die Stickstoffmenge, die sich zum Zeitpunkt März im Spross befand, wurde ebenfalls nicht gemessen. Nach HOFFMANN & RICHTER (1988) beträgt die vorwinterliche Stickstoffaufnahme des Winterweizens ca. 10 kg N/ha. Da die weitere Stickstoffaufnahme bis zum Ende des Winters eher gering einzuschätzen ist, wurde dieser Wert verwendet.

Als Basis für die Berechnung der Stickstoffmenge im Spross (Korn, Stroh) zum Zeitpunkt der Ernte diente der Kornertrag vom Mähdrusch. Der Strohertrag wurde, da die Stoppeln beim Mähdrusch nicht erfasst werden, über das beim letzten Parzellenschnitt (20.07.00) ermittelte Korn/Stroh-Verhältnis errechnet. Die N-Gehalte der Biomasse stammten ebenfalls vom letzten Parzellenschnitt (20.07.00).

Die Wurzelmasse des Weizens wurde bei der Berechnung der N-Netto-Mineralisation nicht berücksichtigt. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass sich N-Einträge (Deposition) und N-Verluste (Denitrifikation, Auswaschung) gegenseitig aufheben.

3.5 Ertrag und Qualität der Vorfrüchte 1999

Die Daten über den Ertrag und die Qualität der Vorfrüchte sind einem bisher unveröffentlichten Ergebnisbericht des Instituts für Organischen Landbau der Universität Giessen entnommen (SCHMIDT, 2000).

3.5.1 Feldfutter (a1) und Grünbrache (a2)

Die Erträge von Feldfutter und Grünbrache unterschieden sich an drei der vier Schnittterminen im Jahr 1999 (Abb. 2). Das Feldfutter wies dabei den höheren Biomasseertrag auf. Die Leguminosensprossmasse des Feldfutters war an allen Terminen höher als die der Grünbrache. Im Laufe des Jahres kam es in beiden Varianten zu Veränderungen in der Bestandeszusammensetzung. Der Gemengepartner Gras wurde verdrängt, so dass im Feldfutter schon zum zweiten Schnitttermin kein Gras mehr enthalten war. In der Grünbrache nahm der Grasanteil ebenfalls ab, fiel jedoch nicht auf Null.

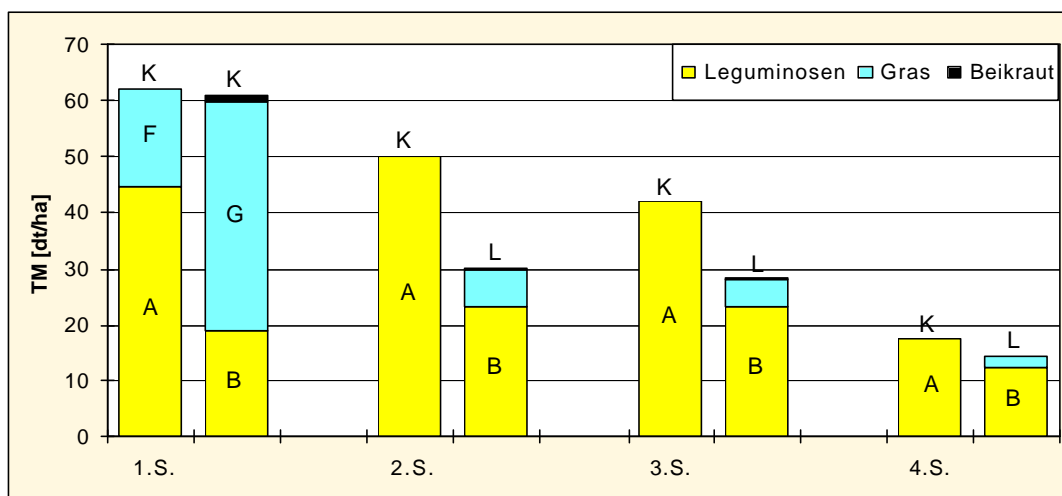


Abb. 2: Zusammensetzung des Feldfutters (a1: linke Säule) und des Grünbracheaufwuchses (a2: rechte Säule) an den vier Schnittterminen 1999. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an einem Schnittzeitpunkt
A/B: Leguminosen-TM, F/G: Gras-TM, K/L: Gesamt-TM (Tukey-Test; $p \leq 0,001$)

Die Stickstoffmengen im Aufwuchs von Feldfutter und Grünbrache spiegelten die Biomasseerträge wider (Abb. 3). Allerdings war ein Unterschied zwischen Feldfutter und Grünbrache hier schon beim ersten Schnitt und somit für alle Termine abzusichern.

Die Sprossmasse des Feldfutters wurde abgefahren. Die darin enthaltene Stickstoffmenge kann somit nicht angerechnet werden. Die Sprossmasse der Grünbrache verblieb dagegen als Mulch auf dem Feld. Genaue Aussagen über die dadurch eingebrachten Stickstoffmengen können jedoch nicht gemacht werden, da Stickstoffverluste aus dem

Mulch nicht erfasst wurden. Die Stickstoffmengen in Stoppeln und Wurzeln wurden ebenfalls nicht bestimmt.

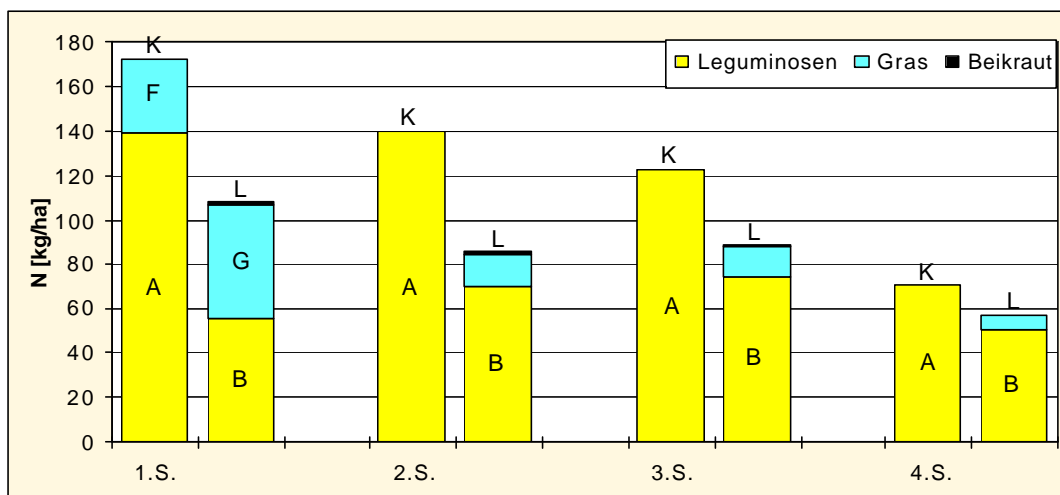


Abb. 3: Stickstoffmengen im Spross des Feldfutters (a1: linke Säule) und der Grünbrache (a2: rechte Säule) an den verschiedenen Schnitterminen 1999. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an einem Schnittzeitpunkt
A/B: Leg.-N, F/G: Gras-N, K/L: Gesamt-N (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

3.5.2 Ackerbohnen (a3)

Die Ackerbohnen erreichten einen durchschnittlichen Bohnenertrag von ca. 32 dt/ha (TM). Die Pflugvariante (b1) und die Zweischichtenpflugvariante (b2) lieferten signifikant höhere Erträge als die Schichtengrubbervariante (b4). Beim Strohertrag sowie dem Beikrautaufwuchs waren keine Unterschiede zwischen den Faktorstufen der Bodenbearbeitung abzusichern (Abb. 4).

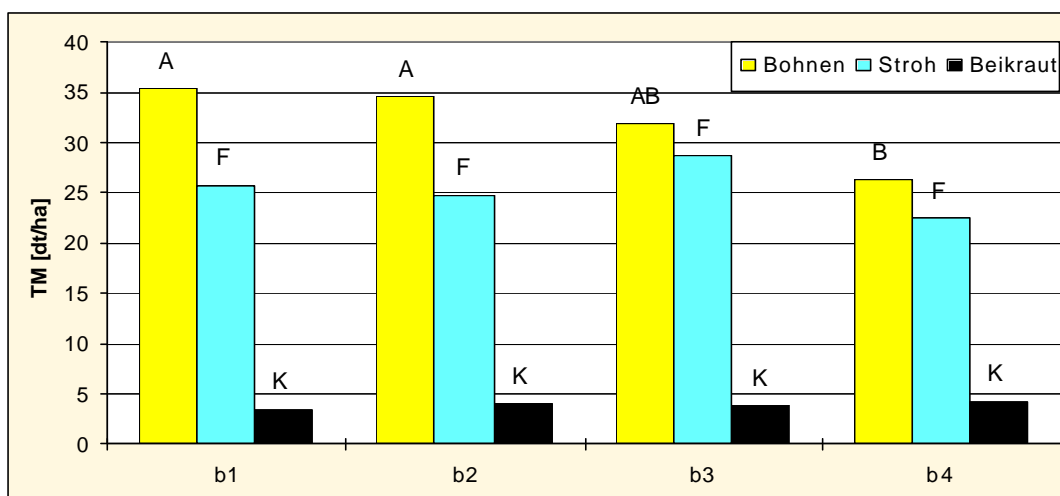


Abb. 4: Bohnen- und Stroherträge der Ackerbohnen sowie Beikrautaufwuchs am 02.09.99 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten der Bodenbearbeitung (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Die Stickstoffmenge in den Bohnen war in der Pflugvariante höher als in der Schichtengrubbervariante. Die Stickstoffmengen in Stroh und Beikraut wiesen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten auf (Abb. 5).

Die Stickstoffmengen in Stoppeln und Wurzeln wurden nicht bestimmt.

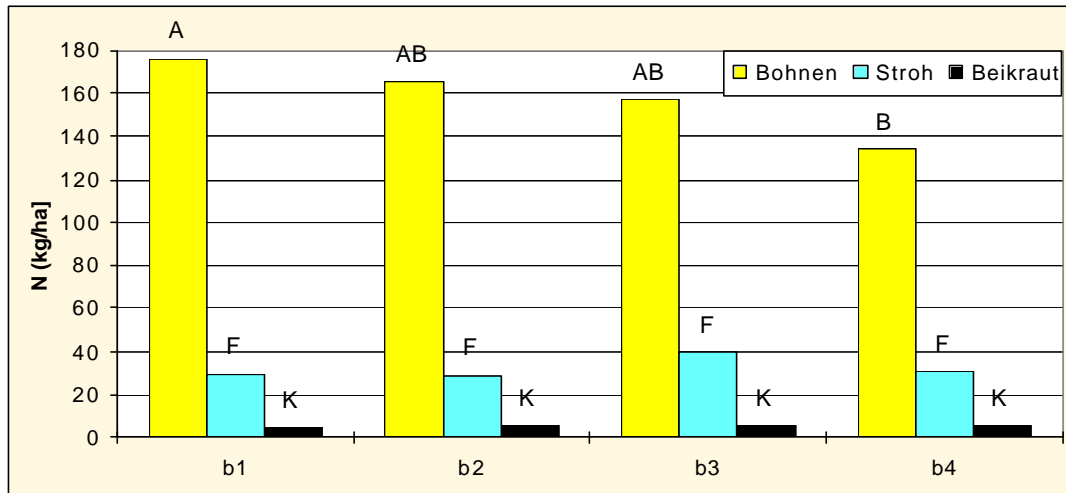


Abb. 5: Stickstoffmengen von Bohnen, Stroh und Beikraut am 02.09.99 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten der Bodenbearbeitung (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

3.6 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes SAS. Es wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Für diese wurde das Modell einer Spaltanlage zugrunde gelegt (Großparzellenfaktor: Fruchtfolge, Kleinparzellenfaktor: Bodenbearbeitung). Für multiple Mittelwertvergleiche kam der Tukey-Test zum Einsatz.

Vor der Durchführung jeder Varianzanalyse erfolgte eine Prüfung der Daten auf Homogenität der Varianzen (Levene-Test) und auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test).

Waren aufgrund der Testergebnisse die Voraussetzungen für die Varianzanalyse nicht gegeben, wurden verschiedene Transformationen durchgeführt ($1/x$, $\log_{10}(x)$, $1/\sqrt{x}$).

Konnten die Voraussetzungen durch die Transformationen nicht erreicht werden, wurde die Varianzanalyse trotzdem durchgeführt. Im Ergebnisteil werden die entsprechenden Fälle im Text erwähnt. Es muss betont werden, dass in den betreffenden Fällen der Residuenunterschied in keinem Fall größer als 10 : 1 war.

Bei den Mittelwertvergleichen wurden folgende Irrtumswahrscheinlichkeiten angenommen:

$\alpha \leq 0,1$ (nicht signifikant, Tendenz erkennbar)

$\alpha \leq 0,05$ (signifikant)

$\alpha \leq 0,01$ (hochsignifikant)

$\alpha \leq 0,001$ (höchstsignifikant)

Signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten wurden durch verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet.

Zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den Ertragsparametern und dem Ertrag wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson ermittelt. Die Prüfung auf Signifikanz erfolgte zweiseitig.

Bemerkung:

Die Konzeption des Versuches als Spaltanlage bringt es mit sich, dass die Faktoren mit unterschiedlicher Präzision geprüft werden. Signifikante Unterschiede sind beim Faktor Fruchtfolge (Großparzellenfaktor) schwerer abzusichern als beim Faktor Bodenbearbeitung (Kleinparzellenfaktor). Diese Tatsache schränkt die Vergleichbarkeit der beiden Faktoren ein.

Das Versuchsfeld ist zudem durch eine starke Inhomogenität gekennzeichnet, wodurch die Absicherbarkeit der Faktorwirkungen insgesamt erschwert wird.

4 Ergebnisse

4.1 Stickstoffdynamik im Boden

4.1.1 Dynamik der Nitratgehalte vom Herbst 1999 bis zum Frühjahr 2000

Für die Gehaltsveränderung des mineralischen Bodenstickstoffs über Winter ist der Nitratstickstoff (Nitrat-N) wegen seiner leichten Verlagerbarkeit von besonderer Bedeutung. Um diesen potenziellen Verlustpfad näher zu charakterisieren, sollen im folgenden die Nitratgehalte vom November 1999 und März 2000 dargestellt und anschließend verglichen werden.

Die Gehalte an Ammoniumstickstoff (Ammonium-N) befanden sich im Herbst 1999 und im Frühjahr 2000 auf einem niedrigen Niveau. Im Mittel der Varianten und Termine lagen in den Schichten 0-30 cm und 60-90 cm ca. 2 kg/ha und in 30-60 cm ca. 1 kg Ammonium-N/ha vor. Die Gehalte zeigten keine deutlichen Unterschiede zwischen den Varianten.

Der Nitrat-N-Gehalt des gesamten Profils (0-90 cm) lag im November 1999 im Schnitt über alle Varianten bei 47,9 kg/ha. Die Unterschiede zwischen den Vorfruchtvarianten (a1: 47,5 kg/ha; a2: 57,9 kg/ha; a3: 38,4 kg/ha) waren statistisch nicht abzusichern. Die Verteilung des Nitratstickstoffs auf die einzelnen Schichten (Abb. 6) war durch relativ hohe Werte in der Krume (0-30 cm) gekennzeichnet. In dieser Schicht ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen der Grünbrachevariante (a2) und der Ackerbohnenvariante (a3). Ein Einfluss der Vorfrucht auf die Nitratgehalte der beiden tieferen Schichten war an diesem Termin nicht abzusichern.

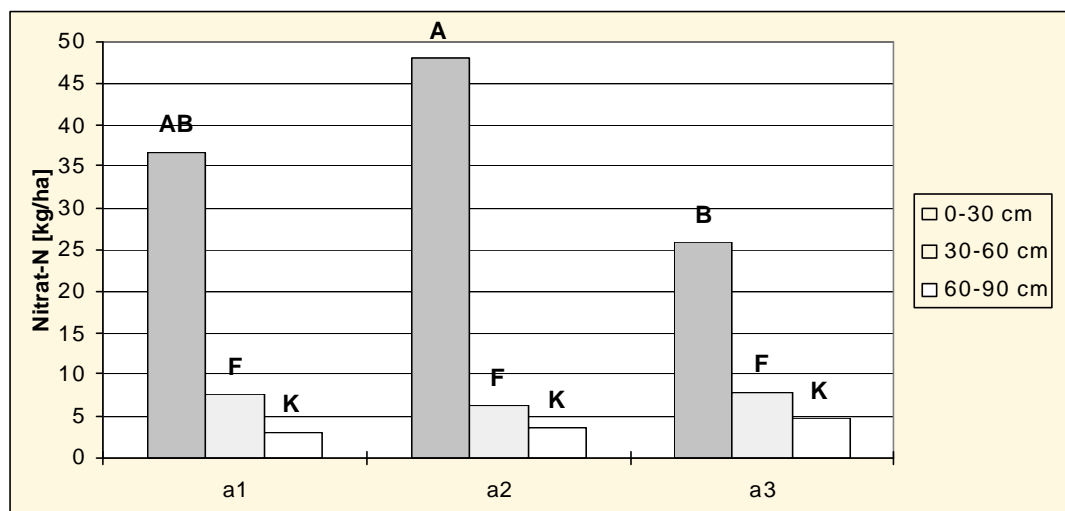


Abb. 6: Nitratgehalte des Bodens in verschiedenen Tiefen am 01.11.99 in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Ein differenzierender Einfluss der Bodenbearbeitung war weder für den Nitratgehalt des gesamten Profils (b1: 47,3 kg/ha; b2: 47,9 kg/ha; b3: 50 kg/ha; b4: 46,7 kg/ha), noch für den Gehalt in einer der drei Schichten abzusichern (Abb. 7).

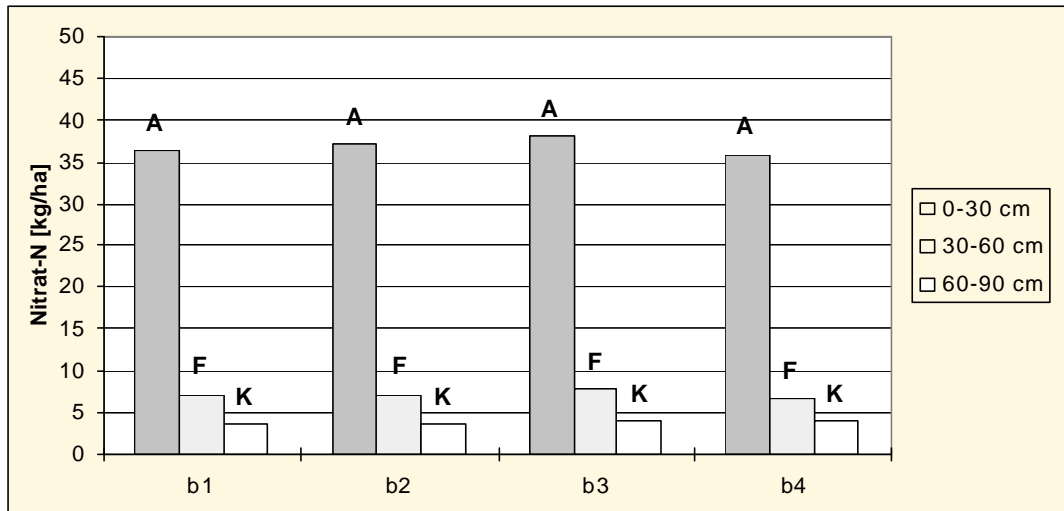


Abb. 7: Nitratgehalte des Bodens in verschiedenen Tiefen am 01.11.99 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Im März 2000 lag der durchschnittliche Nitratgehalt des Profils bei 37 kg/ha. Es zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Vorfrucht auf diesen Parameter. Die Ackerbohnenvariante (a3) wies mit 23,7 kg Nitrat-N/ha deutlich geringere Werte auf als die Feldfuttervariante (a1) mit 42,5 kg/ha und die Grünbrachevariante (a2) mit 44,7 kg/ha. Eine Unterscheidung von a1 und a2 war nicht möglich. Der differenzierende Einfluss der Vorfrucht war in allen drei untersuchten Schichten abzusichern. Die Variante a3 wies hier stets die geringsten Gehalte auf (Abb. 8).

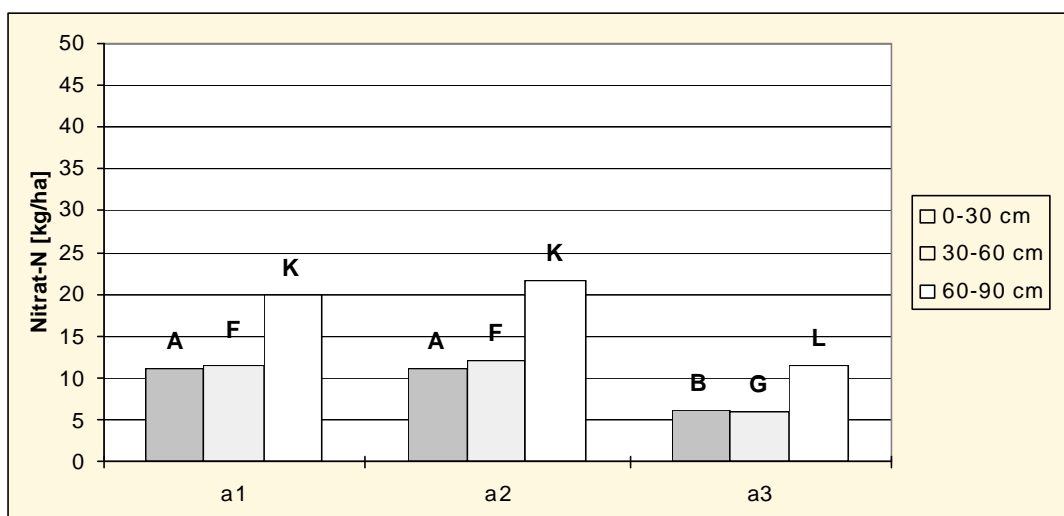


Abb. 8: Nitratgehalte des Bodens in verschiedenen Tiefen am 13.03.00 in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Die Nitratgehalte der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten des gesamten Profils (b1: 36,5 kg/ha; b2: 39,4 kg/ha; b3: 37,2 kg/ha; b4: 34,8 kg /ha) waren, wie schon im November, statistisch nicht zu unterscheiden. Signifikante Unterschiede ergaben sich lediglich in der Schicht 30-60 cm (Abb. 9). Die Zweischichtenpflugvariante (b2) wies hier höhere Nitratgehalte auf als die Schichtengrubbervariante (b4). Da ein Unterschied zur Zweischichtenpflugvariante (b3) jedoch nicht abzusichern war, ist das Ergebniss nicht eindeutig. In der Schicht 0-30 cm zeichneten sich tendenziell höhere Werte in der Pflugvariante (b1) ab.

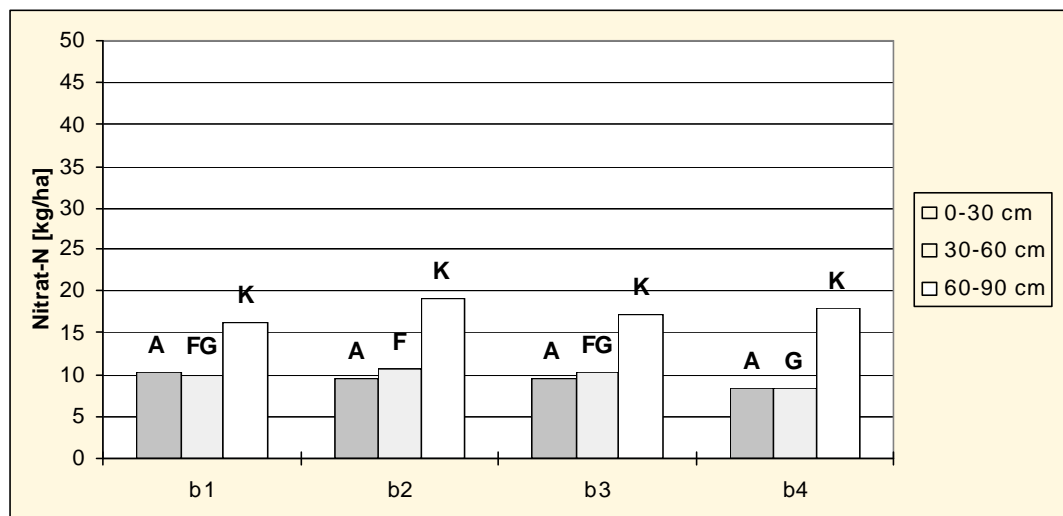


Abb. 9: Nitratgehalte des Bodens in verschiedenen Tiefen am 13.03.00 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschieden Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Vergleicht man die Nitratgehalte vom November 1999 mit denen vom März 2000 stellt man fest, dass es in diesem Zeitraum zu einer Verlagerung von Nitrat in tiefere Schichten kam. Bei einem Vergleich der Gesamtgehalte (0-90 cm) beider Termine war eine Abnahme der Gehalte zu erkennen. Diese lag im Mittel über alle Varianten bei ca. 11 kg/ha. Ein signifikanter Einfluss auf die Höhe dieser Abnahme war weder für die Vorfrucht noch für die Bodenbearbeitung abzusichern (Tab. 7).

Tab. 7: Veränderung der Nitratgehalte (Nitrat-N kg/ha) vom 01.11.99 bis 13.03.00 (0-90 cm) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Variante	a1	a2	a3	b1	b2	b3	b4
Gehaltsveränderung	-5 a	-13,2 a	-14,7 a	-10,7 f	-8,4 f	-12,8 f	-11,9 f

4.1.2 Gehalt an löslichem Stickstoff (N_{\min} -N) im Frühjahr 2000

Für die Stickstoffernährung des Weizens ist neben dem Nitrat auch das Ammonium von Bedeutung. Zur Charakterisierung der Stickstoffversorgungslage im Frühjahr werden zunächst die N_{\min} -Gehalte des gesamten Profils (0-90 cm) am 13.03.00 dargestellt.

Die Entnahme der Bodenproben für die Analyse der N_{\min} -Dynamik in der Vegetationsperiode erfolgte auf einzelnen ausgewählten Parzellen des Versuches. Die Variante b3 wurde nicht berücksichtigt.

Die Vorfrucht hatte einen hochsignifikanten Einfluss auf die N_{\min} -Gehalte des gesamten Profils (Abb. 10). Die Ackerbohnenvariante (a3) wies mit 26 kg N_{\min} -N/ha deutlich geringere Werte auf als die Feldfuttervariante (a1) mit 48,2 kg/ha und die Grünbrachevariante (a2) mit 48,6 kg/ha.

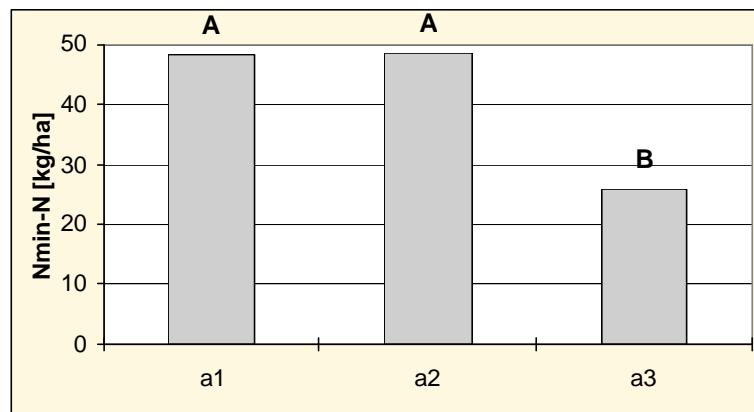


Abb. 10: N_{\min} -Gehalte des Bodens am 13.03.00 (0-90 cm) in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test $p; \leq 0,05$)

Ein Einfluss der Bodenbearbeitung auf die N_{\min} -Gehalte war nicht abzusichern. Die Werte (b1: 40,3 kg/ha; b2: 43,6 kg/ha; b4: 38,8 kg/ha) lagen auf einem ähnlichen Niveau (Abb. 11)

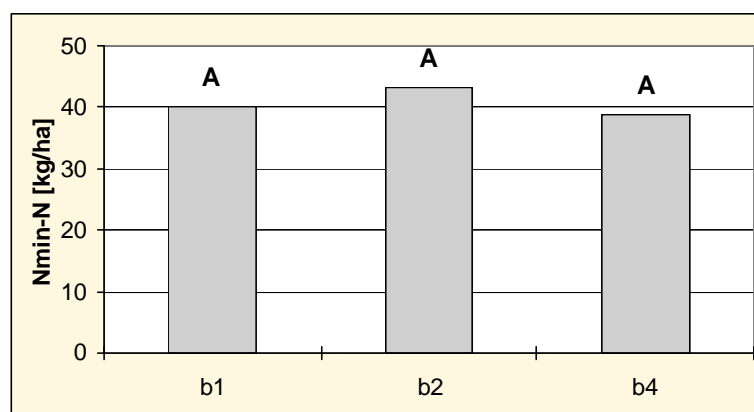


Abb. 11: N_{\min} -Gehalte des Bodens am 13.03.00 (0-90 cm) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

4.1.3 Dynamik der N_{\min} -Gehalte während der Vegetationsperiode 2000 bis zur Ernte des Weizens

Ackerkrume (0-30 cm)

Nach Vegetationsbeginn nahmen die N_{\min} -Gehalte in 0-30 cm ab. Sie blieben während des weiteren Wachstums auf einem konstant niedrigen Niveau und stiegen erst zur Abreife des Weizens wieder an. Der Einfluss der Vorfrucht auf die unterschiedlichen N_{\min} -Gehalte in der Krume war an drei Terminen signifikant (Abb. 12). Dabei war ein geringeres Gehaltsniveau in der Ackerbohnenvariante (a3) zu beobachten. Die N_{\min} -Gehalte der Feldfuttervariante (a1) und der Grünbrachevariante (a2) wiesen einen nahezu identischen Verlauf auf. Sie waren an keinem Termin zu unterscheiden. Für den 26.06. waren nach dem F-Test ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Varianten abzuschließen. Der Tukey-Test bestätigte dieses Ergebnis jedoch nicht. Am 03.08. zeigte sich eine Tendenz zu geringeren Werten in a3. Sowohl die Abnahme der Gehalte zwischen dem 13.03. und dem 06.04. als auch der Anstieg der Gehalte nach dem 26.06. schien in a3 geringer zu sein als in a1 bzw. a2. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant.

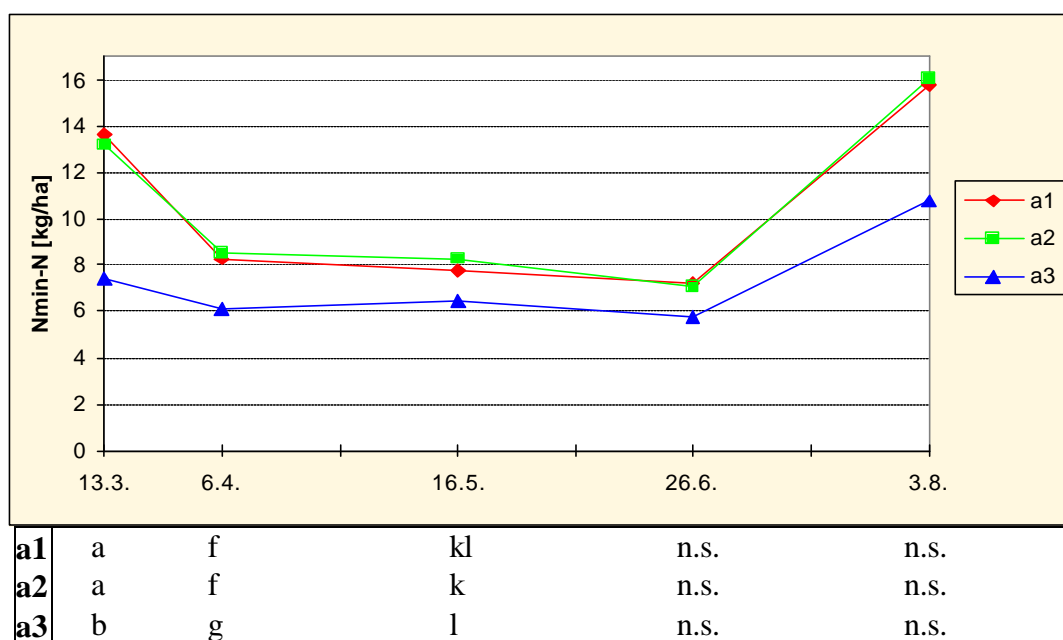


Abb. 12: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Krume (0-30 cm) vom 13.03.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschieden Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$) (n.s. = nicht signifikant)

Bei der Betrachtung des Faktors Bodenbearbeitung hinsichtlich seines Einflusses auf die N_{\min} -Dynamik in der Krume fiel auf, dass die Gehalte aller Varianten einen ähnlichen Verlauf zeigten. Bei der statistischen Verrechnung ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Abb. 13).

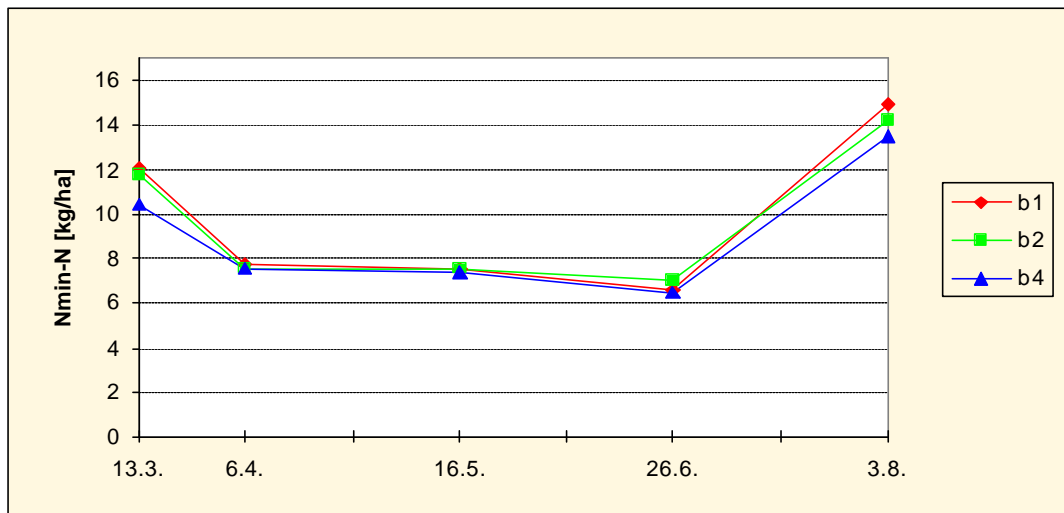


Abb. 13: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Krume (0-30 cm) vom 13.03.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Um eine mögliche Wirkung der Zweischichtbodenbearbeitung auf die Stickstoffdynamik des Bodens erkennbar zu machen, werden die N_{\min} -Gehalte im folgenden getrennt nach Ober- und Unterkrume (0-15 cm bzw. 15-30 cm) dargestellt. Für den 13.03. ist diese Art der Aufteilung nicht möglich, da an diesem Termin die betreffenden Schichten nicht separat erfasst wurden.

Bei der Betrachtung der N_{\min} -Gehalte in der **Oberkrume** in Abhängigkeit von der Vorfrucht (Abb. 14) wird erneut das höhere Gehaltsniveau der Feldfuttermittelsvariante (a1) sowie der Grünbrachevariante (a2) gegenüber der Ackerbohnenvariante (a3) deutlich. An drei Terminen waren signifikante Unterschiede im N_{\min} -Gehalt zwischen a2 und a3 abzusichern. In der **Unterkrume** (15-30 cm) lagen ähnliche Verhältnisse vor. Auch hier war der geringere Gehalt der Variante a3 zu erkennen (Abb. 15). Allerdings war nur an einem Termin eine Abgrenzung gegenüber a1 und a2 abzusichern. Die Veränderung der N_{\min} -Gehalte zwischen dem 06.04. und dem 16.05. in der Unterkrume wies tendenzielle Unterschiede zwischen den Varianten der Vorfrucht auf. Der N_{\min} -Gehalt in a3 nahm dabei weniger stark ab als in a1. Die Homogenität der Varianzen war jedoch in diesem Fall nicht gegeben, weshalb die Aussagekraft dieses Ergebnisses vorsichtig zu bewerten ist.

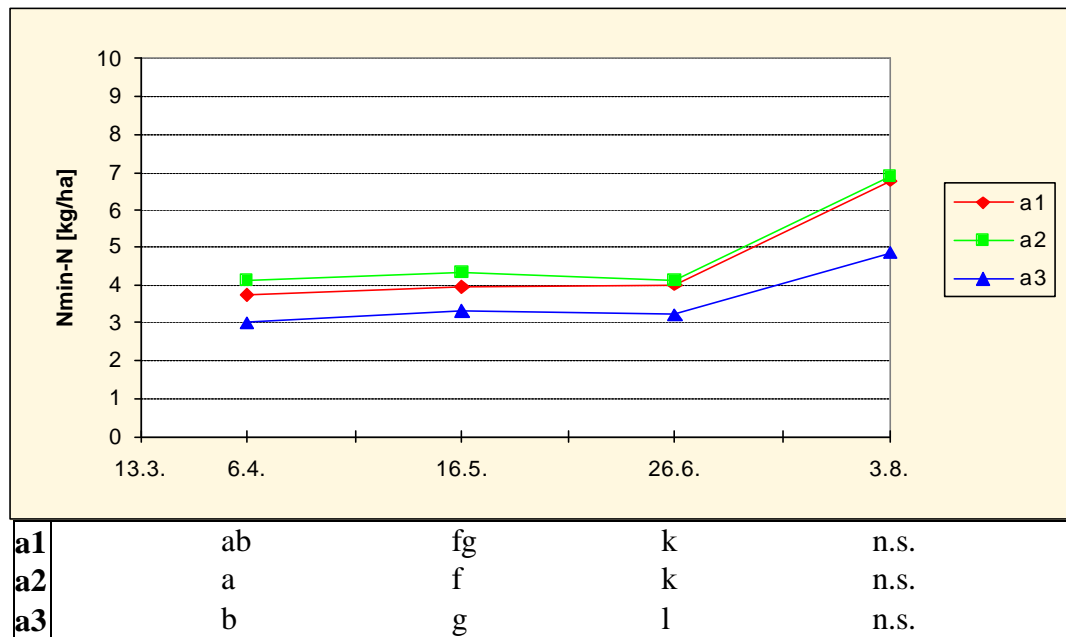


Abb. 14: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Oberkrume (0-15 cm) vom 06.04.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschieden Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$) (n.s. = nicht signifikant)

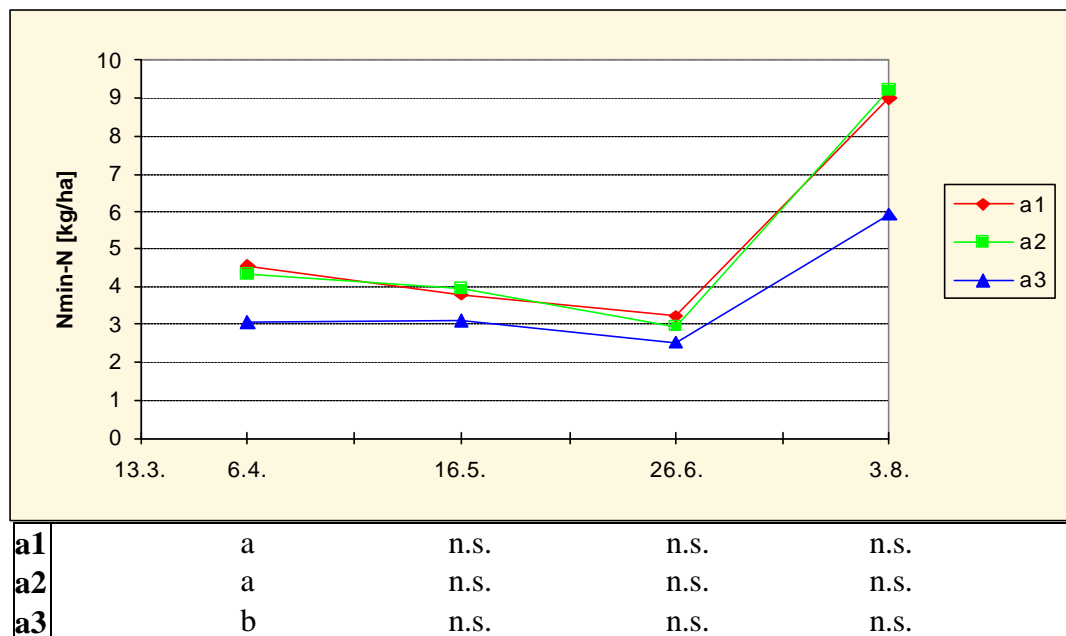


Abb. 15: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Unterkrume (15-30 cm) vom 06.04.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschieden Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$) (n.s. = nicht signifikant)

Der Einfluss des Faktors Bodenbearbeitung auf die N_{\min} -Gehalte in Ober- und Unterkrume wird im folgenden dargestellt.

Die Faktorstufen der Bodenbearbeitung führten insgesamt zu geringeren Unterschieden im N_{\min} -Gehalt der Ober- und Unterkrume als die Faktorstufen der Vorfrucht. In der **Oberkrume** wies die Pflugvariante (b1) etwas geringere N_{\min} -Gehalte auf als die anderen Varianten. An zwei Terminen waren signifikante Unterschiede zur Schichtengrubbervariante (b4) bzw. zur Zweischichtenpflugvariante (b2) abzusichern (Abb. 16).

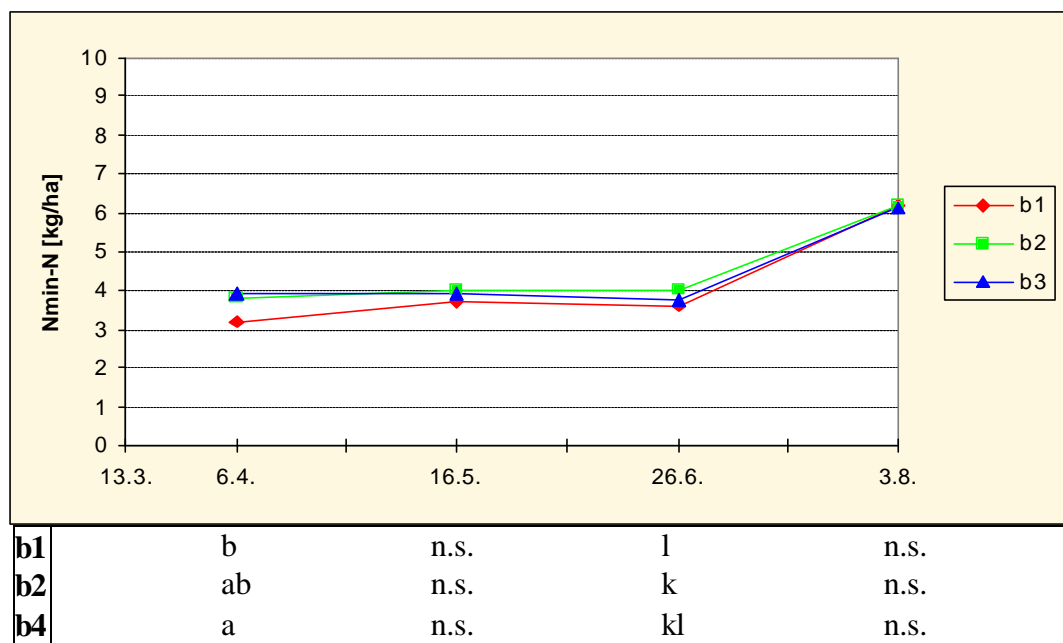


Abb. 16: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Oberkrume (0-15 cm) vom 06.04.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschieden Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$) (n.s. = nicht signifikant)

In der **Unterkrume** stellten sich die Verhältnisse anders dar (Abb. 17). Hier lagen die N_{\min} -Gehalte der Pflugvariante (b1) höher. An zwei der vier Terminen war ein signifikanter Unterschied zur Schichtengrubbervariante (b4) festzustellen. Auch am 06.04. waren nach dem F-Test Unterschiede zwischen den Varianten gegeben. Diese waren jedoch mit dem Tukey-Test nicht abzusichern.

Die Veränderung der N_{\min} -Gehalte zwischen dem 26.06. und dem 03.08. in der Unterkrume wies tendenzielle Unterschiede zwischen den Faktorstufen der Bodenbearbeitung auf. In der Pflugvariante (b1) zeichnete sich ein steilerer Anstieg der Gehalte ab als in der Schichtengrubbervariante (b4).

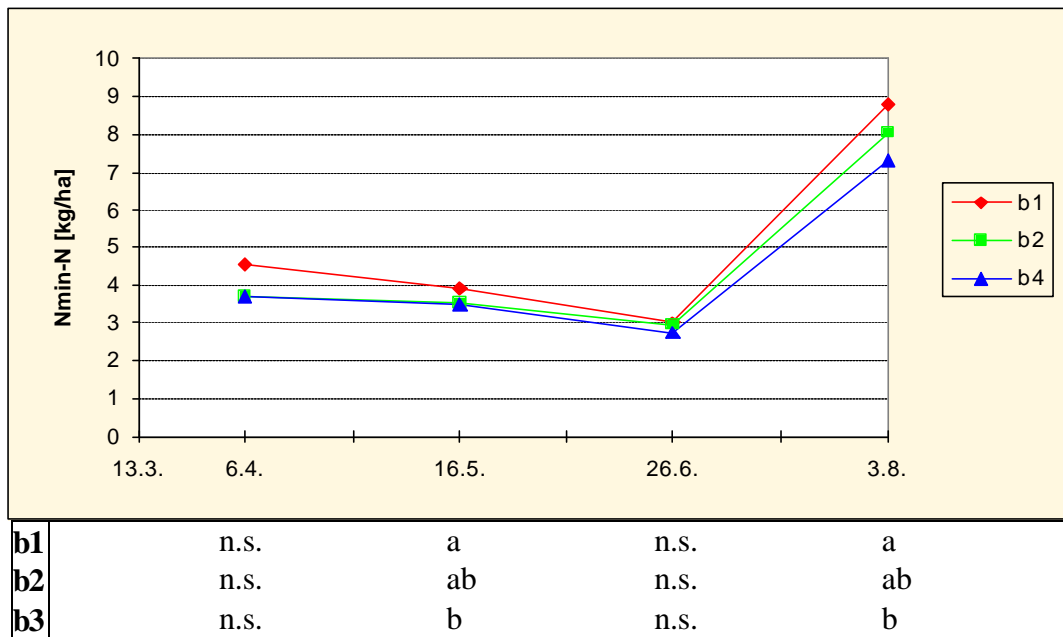


Abb. 17: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Unterkrume (15-30 cm) vom 06.04.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$) (n.s. = nicht signifikant)

Unterboden (30-60 cm)

Die N_{\min} -Gehalte im Unterboden (30-60 cm) wurden im Jahr 2000 nur an drei Terminen bestimmt. Einige grundlegende Aussagen über die Dynamik in dieser Tiefe waren dennoch möglich.

Betrachtet man den Verlauf der N_{\min} -Gehalte dieser Schicht in Abhängigkeit von der Vorfrucht (Abb. 18) zeigt sich wieder der annähernd identische Verlauf der Feldfuttermvariante (a1) und der Grünbrachevariante (a2) sowie das geringere Gehaltsniveau in der Ackerbohnenvariante (a3). Am 13.03. war ein hochsignifikanter Einfluss der Vorfrucht auf den N_{\min} -Gehalt abzusichern. Die Varianten a1 und a2 wiesen zu diesem Zeitpunkt fast doppelt so hohe Werte auf wie die Variante a3. Bis zum 06.04. war eine Abnahme der Gehalte festzustellen.

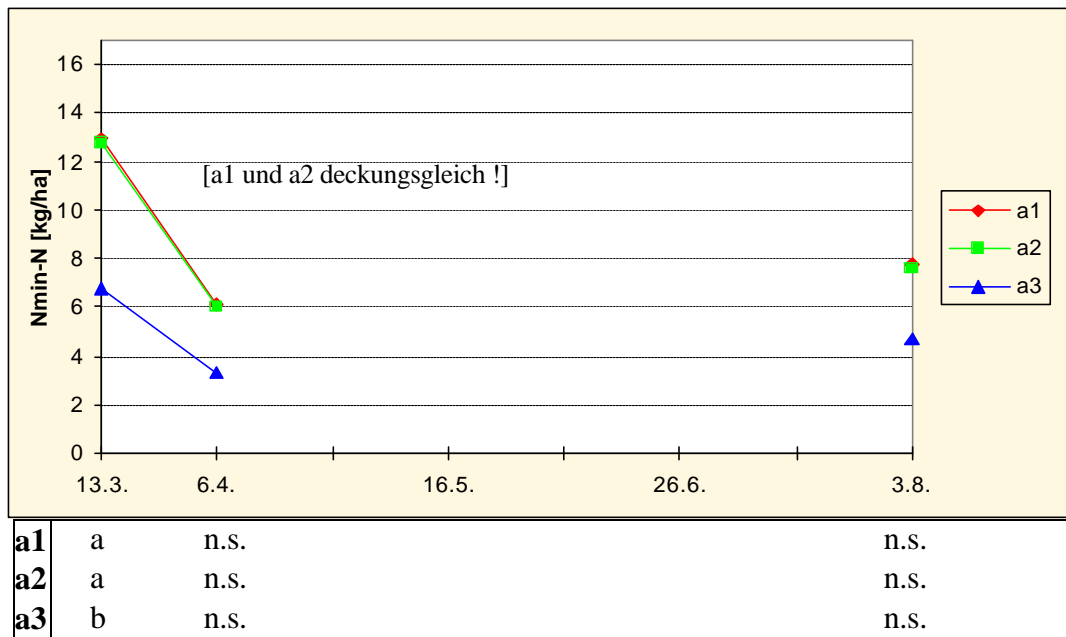


Abb 18: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Tiefe 30-60 cm vom 13.03.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$) (n.s. = nicht signifikant)

Bei der Abnahme der N_{\min} -Gehalte in 30-60 cm zwischen dem 13.03. und 06.04. ergaben sich Unterschiede zwischen den Vorfruchtvarianten. Da jedoch Wechselwirkungen zwischen Fruchtfolge und Bodenbearbeitung festgestellt wurden, konnten diese Unterschiede jeweils nur auf Stufe gleicher Bodenbearbeitung getestet werden (Abb. 19).

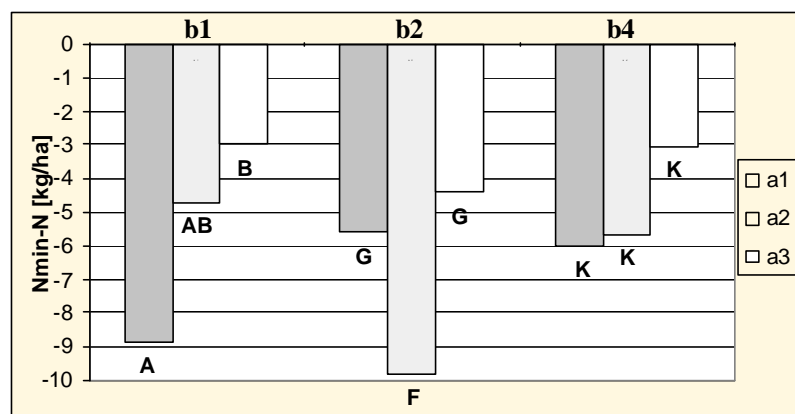


Abb. 19: Veränderung der N_{\min} -Gehalte in der Tiefe 30-60 cm zwischen dem 13.03.00 und dem 06.04.00 in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Innerhalb der Pflugvariante (b1) ergab sich eine stärkere Gehaltsabnahme in der Feldfuttermvariante (a1) als in der Ackerbohnenvariante (a3). Bei der Bearbeitung mit dem Zweischichtenpflug (b2) war die Abnahme in der Grünbrachevariante (a2) am höchsten. Innerhalb der Schichtengrubbervariante (b4) waren zwischen den Faktorstufen der Vorfrüchte keine Unterschiede in der Abnahme der Gehalte abzusichern.

Ein Einfluss des Faktors Bodenbearbeitung auf Unterschiede im N_{\min} -Gehalt in 30-60 cm war, wie schon in der Krume, an keinem Termin abzusichern (Abb. 20).

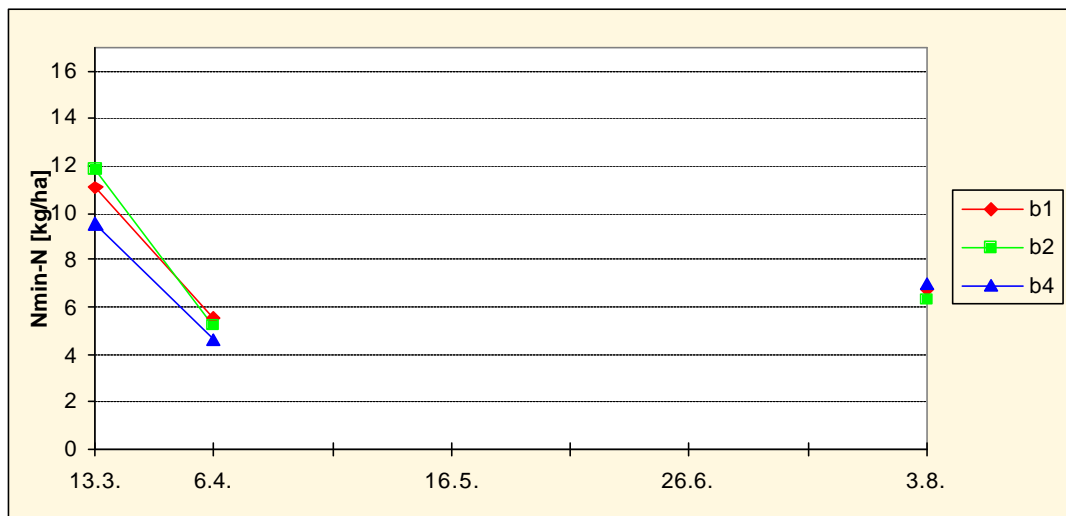


Abb. 20: Dynamik der N_{\min} -Gehalte in der Tiefe 30-60 cm vom 13.03.00 bis zur Ernte in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Unterboden (60-90 cm)

Die Tiefe 60-90 cm wurde nur am 13.03.00 beprobt. Ein Einfluss der Vorfrucht auf die N_{\min} -Gehalte dieser Schicht war erkennbar und auch mit dem F-Test abzusichern. Der Tukey-Test bestätigte dieses Ergebnis jedoch nicht. Die Gehalte der einzelnen Bodenbearbeitungsvarianten lagen auf einem relativ ähnlichen Niveau. Sie waren statistisch nicht zu unterscheiden (Tab. 8).

Tab. 8: N_{\min} -Gehalte des Bodens (N_{\min} -N kg/ha) am 13.03.00 (60-90 cm) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Variante	a1	a2	a3	b1	b2	b4
N_{\min}-Gehalt	21,6 a	22,6 a	11,8 a	17,1 f	19,9 f	18,8 f

4.2 Untersuchungen an der Pflanze

Im Gegensatz zu den Bodenuntersuchungen wurden Pflanzenuntersuchungen auf sämtlichen Parzellen durchgeführt.

4.2.1 Auflaufbonitur

Auf die Anzahl der Keimpflanzen im Herbst hatten die betrachteten Versuchsfaktoren keinen signifikanten, differenzierenden Einfluss (Tab. 9).

Tab. 9: Keimpflanzen des Weizens (Pflanzen/m²) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Variante	a1	a2	a3	b1	b2	b3	b4
Keimpflanzen	277 a	280 a	271 a	273 f	271 f	276 f	285 f

4.2.2 Sprossmassebildung

Bei der Betrachtung der Sprossmassebildung des Weizens in Abhängigkeit von der Vorfrucht (Abb. 21) zeigte sich ein annähernd identischer Verlauf der Feldfuttervariante (a1) und der Grünbrachevariante (a2).

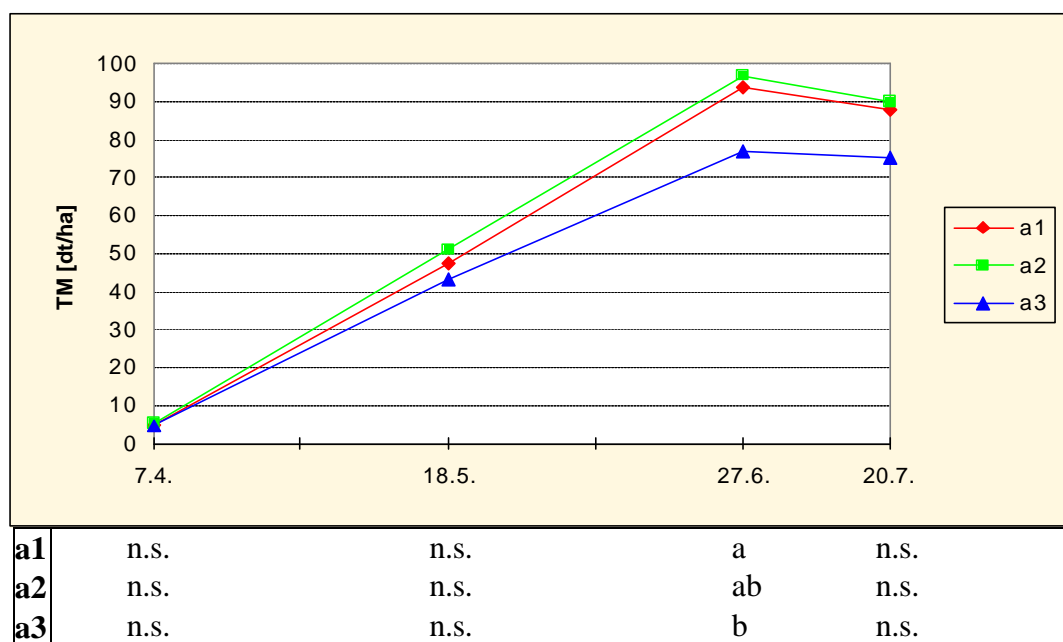


Abb. 21: Dynamik der Sprossmassebildung des Weizens in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten am den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$) (n.s. = nicht signifikant)

Eine Unterscheidung der Sprossmasse dieser beiden Varianten war zu keinem Termin möglich. Die Ackerbohnenvariante (a3) wies demgegenüber eine geringere Sprossmassebildung auf. Diese fiel während der ersten drei Probetermine zunehmend zurück. Ein Unterschied zu a1 war am 27.06. abzusichern. Die Sprossmassezunahme zwischen dem 18.05. und 27.06. war nach dem F-Test in a3 geringer. Mit dem Tukey-Test war dieser Unterschied jedoch nicht abzusichern.

Eine Wirkung der Bodenbearbeitung auf die Sprossmassebildung des Weizens konnte nur am 20.07. abgesichert werden (Abb. 22). Die Pflugvariante (b1) war hier der Schichtengrubbervariante (b4) überlegen. Eine Überlegenheit des Pfluges gegenüber dem Zweischichtenpflug (b2 und b3) war nicht eindeutig, da sich ein Unterschied nur gegenüber b3 absichern ließ.

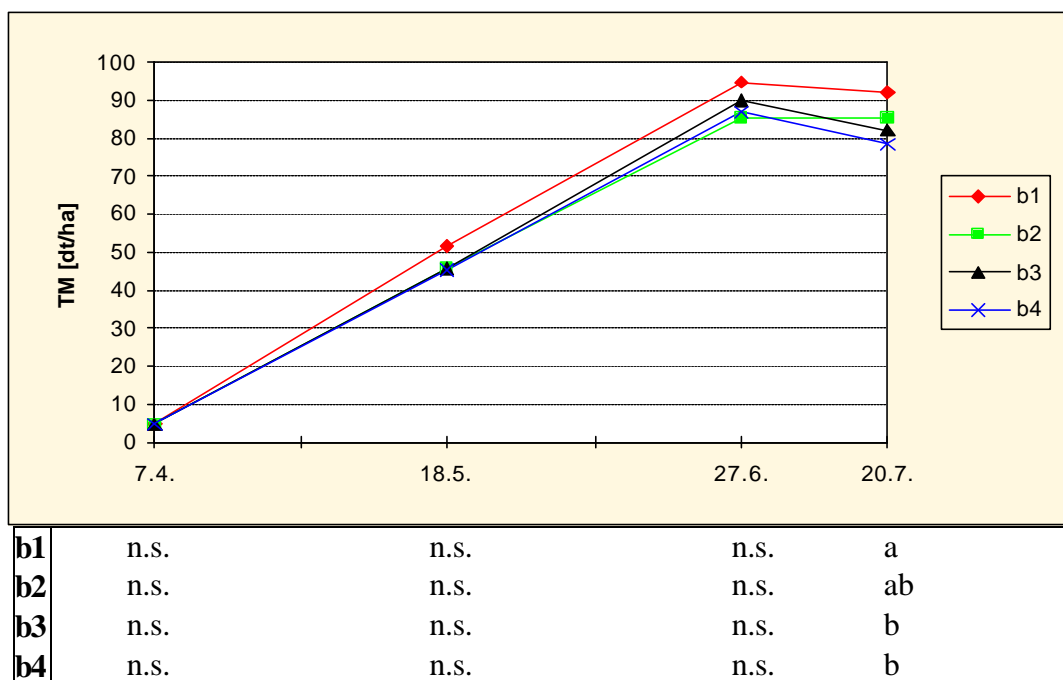


Abb. 22: Dynamik der Sprossmassebildung des Weizens in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$) (n.s. = nicht signifikant)

4.2.3 Stickstoffgehalte

Auf die Stickstoffgehalte in der Biomasse des Weizens (Tab. 10) hatte die Vorfrucht an allen Terminen eine signifikante Wirkung. Die Grünbrachevariante (a2) wies an drei der vier Terminen höhere Werte als die Ackerbohnenvariante (a3) auf, wohingegen die Feldfuttermvariante (a1) statistisch nicht von a2 zu unterscheiden war.

Der Faktor Bodenbearbeitung zeigte insgesamt einen weniger starken Einfluss auf die Stickstoffgehalte in der Biomasse. Hier waren nur am 07.04. signifikante Unterschiede gegeben. An diesem Termin war eine Überlegenheit der Pflugvariante (b1) gegenüber der Schichtengrubbervariante (b4) zu verzeichnen. Ein Unterschied zum Zweischichtenpflug (b2 und b3) war nicht eindeutig abzusichern, da eine Differenzierung nur gegenüber b2 möglich war.

Tab. 10: Entwicklung der Stickstoffgehalte (% N i. d. TM) des Weizens in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Variante \ Termin	07.04.	18.05	27.06	20.07.
a₁	3,72 ab	1,57 f	1,16 k	1,17 rs
a₂	3,77 a	1,56 f	1,18 kl	1,19 r
a₃	3,35 b	1,36 g	1,06 l	1,02 s
b₁	3,74 a	1,5 f	1,14 k	1,12 r
b₂	3,52 b	1,49 f	1,13 k	1,12 r
b₃	3,66 ab	1,51 f	1,15 k	1,12 r
b₄	3,54 b	1,49 f	1,11 k	1,13 r

Die Stickstoffgehalte in Korn und Stroh vom 20.07. sind in Tabelle 11 dargestellt. Es war ein signifikanter Einfluss der Vorfrucht sowohl auf den Stickstoffgehalt im Korn als auch im Stroh abzusichern. Die Feldfuttermvariante (a1) sowie die Grünbrachevariante (a2) wiesen dabei höhere Werte auf als die Ackerbohnenvariante (a3). Eine Beeinflussung der Stickstoffgehalte in Korn und Stroh durch die Bodenbearbeitung war demgegenüber nicht abzusichern.

Tab. 11: Stickstoffgehalte in Korn und Stroh (% N i. d. TM) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Variante	Korn	Stroh
a1	2,11 a	0,38 f
a2	2,12 a	0,40 f
a3	1,92 b	0,33 g
b1	2,04 a	0,37 f
b2	2,05 a	0,36 f
b3	2,07 a	0,36 f
b4	2,05 a	0,38 f

4.2.4 Stickstoffentzüge

Bei der Betrachtung der Stickstoffentzüge durch den Spross des Weizens in Abhängigkeit von der Vorfrucht war der schon bei der Sprossmassebildung beobachtete parallele auf ähnlichem Niveau liegende Verlauf der Feldfüttervariante (a1) und der Grünbrachevariante (a2) offensichtlich (Abb. 23). Eine Unterscheidung des Stickstoffentzuges dieser beiden Varianten war an keinem Termin abzusichern. Demgegenüber verlief der Stickstoffentzug in der Ackerbohnenvariante (a3) auf einem niedrigeren Niveau. Schon am 07.04. waren tendenziell geringere Werte in dieser Variante zu erkennen. Am 18.05. und 27.06. unterschied sich a3 signifikant von a1 und a2, am 20.07. nur von a2. Der Stickstoffentzug zwischen dem 07.04. und dem 18.05. war in a3 signifikant geringer als in a1 und a2.

Im Gegensatz zum Einfluss der Vorfrucht führte die differenzierte Bodenbearbeitung zu keinen signifikanten Unterschieden im Stickstoffentzug des Weizens (Abb. 24). An zwei Terminen (18.05. und 20.07.) waren allerdings tendenziell höhere Entzüge in der Pflugvariante (b1) zu erkennen.

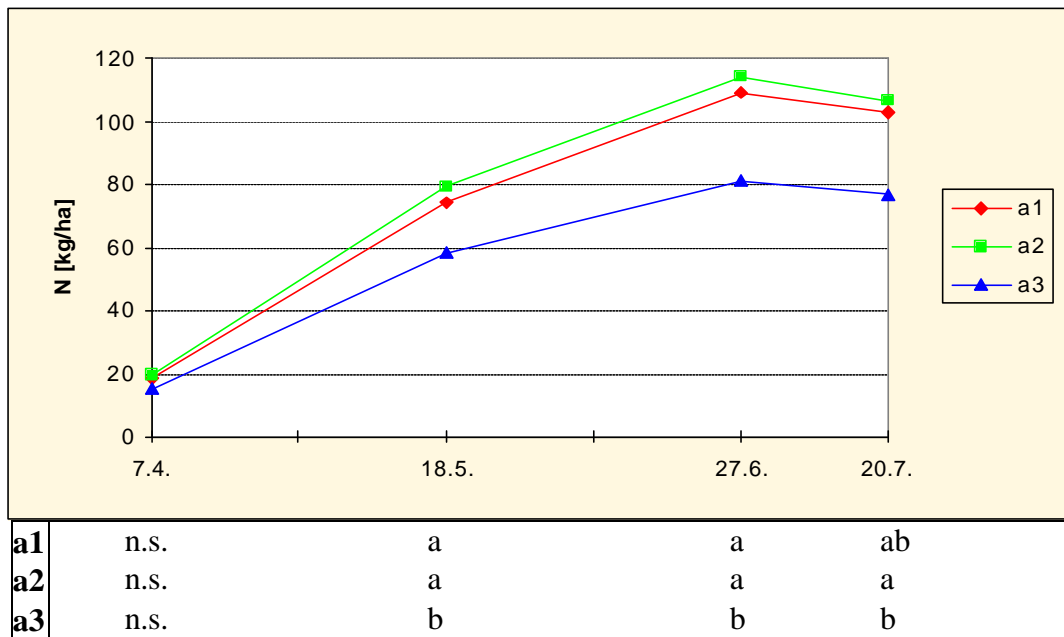


Abb. 23: Dynamik der Stickstoffaufnahme des Sprosses in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$) (n.s. = nicht signifikant)

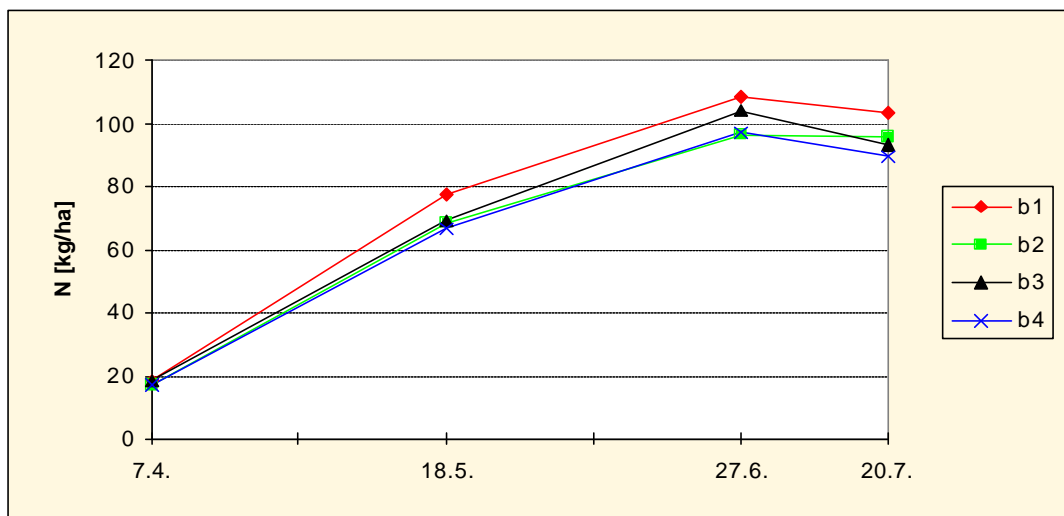


Abb. 24: Dynamik der Stickstoffaufnahme des Sprosses in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten an den jeweiligen Terminen (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

4.3 N-Netto-Mineralisation

Auf die für den Zeitraum Mitte März bis zur Ernte des Weizens berechnete N-Netto-Mineralisation (ΔMIN) war ein Einfluss der Vorfrucht zu erkennen, statistisch jedoch nicht abzusichern. (Tab. 12).

Der Faktor Bodenbearbeitung hatte dagegen einen signifikanten Einfluss auf diesen Parameter. Die Pflugvariante (b1) wies höhere Werte auf als die Zweischichtenpflugvariante (b2). Ein Unterschied zwischen Pflug (b1) und Schichtengrubber (b4) konnte nicht abgesichert werden.

Tab. 12: N-Netto-Mineralisation (N in kg/ha) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Variante	ΔMIN
a1	69,9 a
a2	76,1 a
a3	53,3 a
b1	72,6 f
b2	61 g
b4	65,7 fg

4.4 Ertragsstruktur, Ertrag und Qualität des Weizens

4.4.1 Bestandesdichte

Die mittlere Bestandesdichte des Weizens lag bei 353 Ähren pro Quadratmeter. Weder die Vorfrucht noch die Bodenbearbeitung hatten einen signifikanten Einfluss auf diesen Parameter (Tab. 13).

Tab. 13: Bestandesdichte des Weizens (Ähren/m²) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Variante	Bestandesdichte
a1	356 a
a2	360 a
a3	345 a
b1	360 f
b2	364 f
b3	345 f
b4	345 f

Da die maximale Zahl an Trieben zum Ende der Bestockung nicht ermittelt wurde, war eine Aussage über den Einfluss der Versuchsfaktoren auf die Bestockung des Weizens nicht möglich. Statt dessen wurde die Bestandesdichte (Ähren/m² (Zeitpunkt d. Ernte)) mit der Anzahl der Keimpflanzen im Herbst (Tab. 9) ins Verhältnis gesetzt. Das durchschnittliche Verhältnis lag bei 1,29 : 1. Es zeigte sich, dass die Vorfrucht keinen signifikanten Einfluss auf diesen Parameter ausübte. Die Varianten der Bodenbearbeitung hatten dagegen eine differenzierende Wirkung. Das Verhältnis zwischen der Bestandesdichte und der Anzahl an Keimpflanzen war in der Schichtengrubbervariante (b4) signifikant geringer als in der Zweischichtenpflugvariante (b2), nicht jedoch gegenüber (b3) (Tab. 14).

Tab. 14: Verhältnis zwischen der Bestandesdichte des Weizens (Ähren/m²) und der Anzahl an Keimpflanzen im Herbst (Pflanzen/m²) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Variante	a1	a2	a3	b1	b2	b3	b4
Verhältnis	1,29 a	1,29 a	1,28 a	1,33 fg	1,35 f	1,26 fg	1,22 g

4.4.2 Körner pro Ähre

Die Anzahl an Körnern pro Ähre (Abb. 25) betrug im Durchschnitt aller Varianten 23,5.

Einen hochsignifikanten Einfluss auf diesen Parameter hatte die Vorfrucht. Die Variante a3 wies mit 20,5 weniger Körner pro Ähre auf als die Varianten a1 mit 24,3 und a2 mit 25,6.

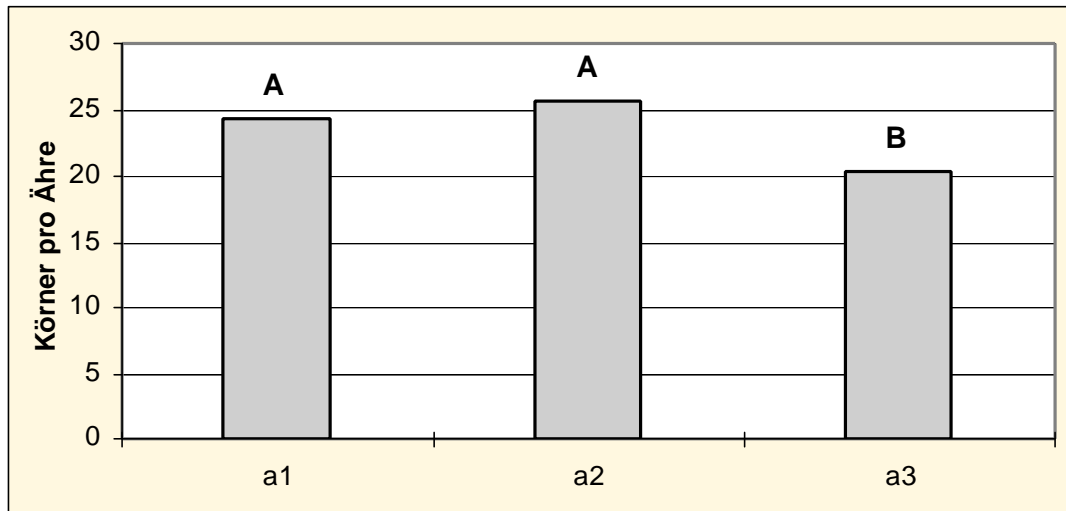


Abb. 25: Anzahl an Körnern pro Ähre in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Die Anzahl an Körnern pro Ähre der einzelnen Bodenbearbeitungsvarianten

(b1: 23,7; b2: 22,1; b3: 24,6; b4: 23,4) war statistisch nicht zu unterscheiden (Abb. 26).

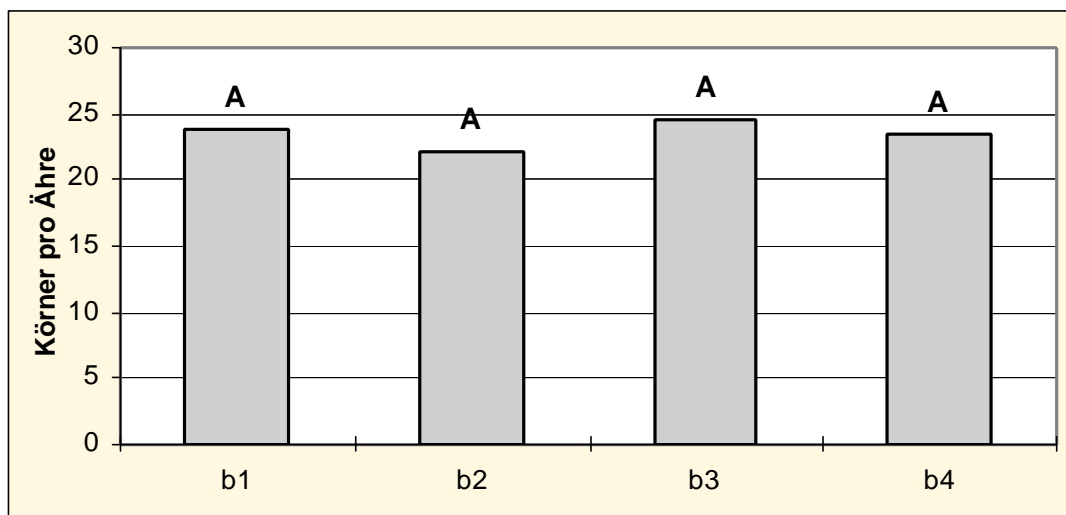


Abb. 26: Anzahl an Körnern pro Ähre in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

4.4.3 Tausendkornmasse

Die durchschnittliche Tausendkornmasse über alle Varianten lag bei 44,2 g. Die Werte der einzelnen Vorfruchtvarianten (a1: 44,9 g; a2: 44,7 g; a3: 43,1 g) waren statistisch nicht zu unterscheiden (Abb. 27).

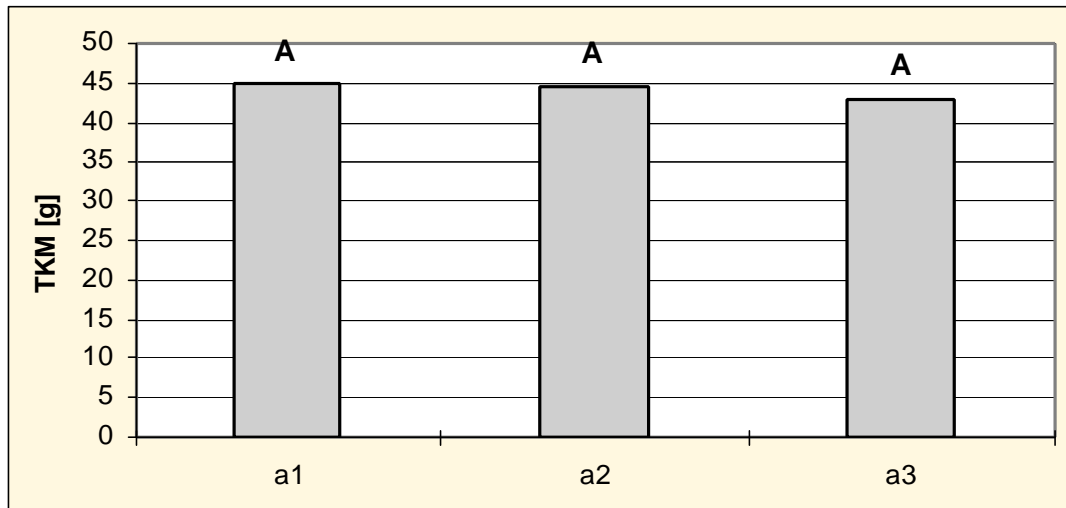


Abb. 27: Tausendkornmasse des Weizens in Abhängigkeit von der Vorfrucht. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

Die Bodenbearbeitung hatte dagegen einen höchstsignifikanten Einfluss auf die Tausendkornmasse (Abb. 28). Die Pflugvariante (b1) sowie die Zweischichtenpflugvariante (b3) wiesen mit 44,8 g bzw. 44,7 g höhere Werte auf als die Schichtengrubbervariante (b4) mit 43,3 g. Die Tausendkornmasse der Zweischichtenpflugvariante (b2) nahm mit 44 g eine Mittelstellung ein.

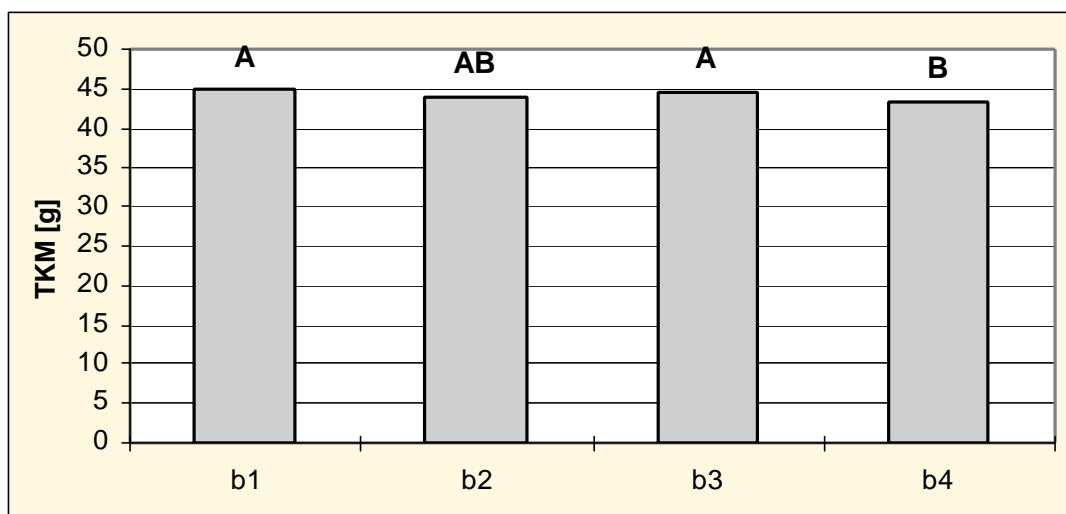


Abb. 28: Tausendkornmasse des Weizens in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. (Tukey-Test; $p \leq 0,05$)

4.4.4 Korn- und Strohertrag

Der durchschnittliche Kornertrag lag bei 42,7 dt/ha. Ein hochsignifikanter Einfluss auf diesen Parameter ging von der Vorfrucht aus (Tab. 15). Die Feldfuttermvariante (a1) und die Grünbrachevariante (a2) erreichten ein höheres Ertragsniveau als die Ackerbohnenvariante (a3). Die Ertragsunterschiede zwischen a1 und a2 waren statistisch nicht abzusichern.

Beim Faktor Bodenbearbeitung war ein höherer Ertrag in der Pflugvariante (b1) als in der Schichtengrubervariante (b4) zu verzeichnen. Eine Mittelstellung nahm der Ertrag der beiden Zweischichtenpflugvarianten (b2 und b3) ein, der statistisch weder von b1 noch von b4 zu unterscheiden war.

Der durchschnittliche Strohertrag lag bei 46,6 dt/ha. Das geringere Ertragsniveau der Ackerbohnenvariante (a3) war hier, im Gegensatz zum Kornertrag, nur gegenüber der Grünbrachevariante (a2) abzusichern. Der Faktor Bodenbearbeitung zeigte keinen signifikanten Einfluss auf den Strohertrag.

Tab. 15: Korn- und Stroherträge des Weizens (dt/ha; 86 % TM) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test $p \leq 0,05$)

Variante	Kornertrag	Strohertrag
a1	44,9 a	47,7 fg
a2	47,8 a	52 f
a3	35,3 b	40,1 g
b1	44,6 a	47,5 f
b2	41,4 ab	44,9 f
b3	44 ab	47,3 f
b4	40,8 b	46,5 f

4.4.5 Ertragsstrukturanalyse

Die Analyse des Zusammenhanges der Ertragsparameter mit dem Ertrag ergab, dass die Anzahl an Körnern pro Ähre, gefolgt von der Tausendkornmasse, den größten Einfluss auf Unterschiede im Kornertrag des Weizens aufwiesen. Der differenzierende Einfluss der Bestandesdichte auf den Kornertrag war gering (Tab. 16).

Tab. 16: Korrelation der Ertragsparameter mit dem Kornertrag des Weizens

Ertragsparameter	Bestandesdichte	Körner pro Ähre	Tausendkornmasse
Korrelationskoeffizient (r)	0,3 *	0,87 **	0,62 **
Bestimmtheitsmass (B)	0,09	0,76	0,38

*) Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

**) Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

4.4.6 Proteingehalt der Körner

Der durchschnittliche Proteingehalt lag bei 11,7 %. Die Varianten der Vorfrucht hatten einen signifikanten Einfluss auf diesen Parameter. Der Proteingehalt in der Ackerbohnenvariante (a3) war um mehr als ein Prozent geringer als in der Feldfuttermvariante (a1) bzw. in der Grünbrachevariante (a2) (Tab. 17). Die Varianten der Bodenbearbeitung zeigten demgegenüber keinen signifikanten Einfluss. Die Proteingehalte lagen hier alle auf einem ähnlichen Niveau.

Tab. 17: Proteingehalt der Weizenkörner (% i. d. TM) in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test $p \leq 0,05$)

Variante	a1	a2	a3	b1	b2	b3	b4
Proteingehalt	12 a	12,1 a	10,9 b	11,6 f	11,7 f	11,8 f	11,7 f

5 Diskussion

5.1 Nitratverlagerung über Winter

Die Kultur Winterweizen ist im Hinblick auf eine mögliche Nitratverlagerung über Winter als problematisch zu bewerten (KÖHNLEIN, 1972). Durch die Gegenüberstellung der Nitratgehalte von November und März sollte deshalb eine Einschätzung der winterlichen Nitratverlagerung in Tiefen unter 90 cm vorgenommen werden. Es muss jedoch bedacht werden, dass die Abnahme der Gehalte nicht allein auf eine Verlagerung zurückzuführen ist. Zu einer Veränderung der Werte kann auch die Stickstoffaufnahme des Weizens sowie eine mögliche Denitrifikation beigetragen haben. Auch Prozesse der Mobilisierung und Immobilisierung von Stickstoff können die Gehalte beeinflusst haben. Die Bilanzierung kann somit nur einen Anhaltspunkt für den Umfang der tatsächlich aufgetretenen Verlagerung geben.

Insgesamt ist das Niveau der Gehaltsveränderung (-11 kg Nitrat-N/ha) und damit wahrscheinlich auch das Ausmaß einer Verlagerung in Tiefenbereiche unter 90 cm als eher gering zu bewerten. Höhere Gehaltsabnahmen über Winter bilanzierte HEB (1989) nach einem Umbruch von Klee gras im Herbst. Unter dem darauffolgenden Winterweizen war zwischen Dezember und Februar in 0-90 cm eine Abnahme von 16 bzw. 30 kg Nitrat-N/ha festzustellen. In Lysimeterversuchen wurde nach dem Umbruch von Ackerbohnen mit darauffolgendem Winterweizen im Zeitraum Januar bis März eine Auswaschung in Höhe von ca. 28 kg Nitrat-N/ha gemessen (HUBER, 1988). Ebenfalls in Lysimeterversuchen wurden von JUNG et al. (1989) nach dem Umbruch von Luzerne unter nachfolgendem Weizen Austräge von 29 kg Nitrat-N/ha ermittelt.

Gründe für die wahrscheinlich eher geringe Nitratverlagerung im Versuch sind in der hohen Feldkapazität des Standortes und der damit einhergehenden geringen Sickerwasserbildung zu suchen. Auch sind im betrachteten Zeitraum keine überdurchschnittlich hohen Niederschläge aufgetreten. Auch DREESMANN (1993), der im Winter nach dem Umbruch von Luzerne gras mit darauffolgendem Winterweizen nur geringe Nitratgehalte in einer Tiefe unter 90 cm feststellte, führte das hohe Wasserspeichervermögen des Standortes sowie die mäßigen Niederschläge der vegetationslosen Zeit als Gründe für die geringen Nitrat austräge an.

Der Einfluss der Versuchsfaktoren auf die Nitratverlagerung wird in den beiden folgenden Kapiteln diskutiert.

5.2 Einfluss der Versuchsfaktoren auf die Nitratgehalte von Herbst und Frühjahr, die N_{\min} -Dynamik in der Vegetationszeit sowie auf das Weizenwachstum

Da abgesehen von einer Ausnahme (Abnahme der N_{\min} -Gehalte (30-60 cm) zwischen dem 13.03. und dem 06.04. (S. 32)) keine Wechselwirkungen zwischen den Faktoren auftraten, erfolgt die Diskussion der Faktoreinflüsse über das Mittel des jeweils anderen Faktors.

5.2.1 Faktor Fruchtfolge (Vorfrucht)

Der Einfluss der unterschiedlichen Vorfrüchte auf den Nitratgehalt im Herbst war nur in der Krume signifikant. In dieser Schicht ist der größte Teil des von den Vorfrüchten hinterlassenen Stickstoffs in Form von Ernte- und Wurzelrückständen konzentriert. So befindet sich nach HEB & KLEIN (1987) 95 % des Stickstoffs eines Klee grasbestandes im Krumenbereich. Unterschiede in Menge und Mineralisierbarkeit dieser Rückstände spiegeln sich deshalb nach dem Umbruch zuerst in den Nitratgehalten der Krume wider (FOERSTER & MEYERCORDT, 1994). Im Frühjahr waren die Unterschiede auch in den tieferen Schichten nachzuweisen. Die höchsten Nitratgehalte waren nun in 60-90 cm zu finden. Dieser Umstand ist vorwiegend auf eine Verlagerung von Nitrat aus der Krume und nicht auf eine Mineralisation des Stickstoffs abgestorbener Wurzeln der tieferen Schichten zurückzuführen (HEB & KLEIN, 1987).

Die Unterschiede in Menge und Mineralisierbarkeit des in den Ernterückständen der Vorfrüchte zurückgelassenen Stickstoffs lassen sich zum einen durch die Pflanzenart, zum anderen durch deren Nutzungsweise erklären. Der einjährigen Vorfrucht Ackerbohnen stehen die zweijährigen Vorfrüchte Feldfutter und Grünbrache gegenüber, die als Hauptbestandsbildner die Futterleguminose Luzerne beinhalten.

Die Vorfrüchte lassen unterschiedliche Mengen an Wurzelrückständen erwarten. So nimmt nach KÖHNLEIN & VETTER (1953) die Wurzelmasse von mehrjährigen Leguminosen über einjährige Kleearten zu Körnerleguminosen hin ab. Konkrete Messungen zur Menge der Ernterückstände (Stoppeln, Wurzeln) von Ackerbohnen und Luzerne wurden von HEINZMANN (1981) durchgeführt. Nach einem einjährigen Anbau von Luzerne wurde dem Boden eine fast doppelt so hohe Menge an Ernterückständen zugeführt wie beim Anbau von Ackerbohnen. In den Rückständen der Luzerne war fast die dreifache Menge Stickstoff gebunden. In der Ackerbohnenvariante (a3) ist demnach mit weniger Stickstoff in Form von

Stoppeln und Wurzeln zu rechnen als in der Feldfuttermvariante (a1) und der Grünbrachevariante (a2).

Wichtig für die N-Freisetzung aus diesem Material ist das C/N-Verhältnis (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1989) bzw. Rohfaser/N-Verhältnis, dass nach HEINZMANN (1981) bei den Ernterückständen der Ackerbohnen weiter ist als bei denen der Luzerne. Auch das nach der Ernte auf dem Feld zurückbleibende Ackerbohnenstroh ist durch ein weites C/N-Verhältnis gekennzeichnet. Die Mineralisation der Ackerbohnenrückstände verläuft deshalb relativ langsam und spielt für die kurzfristige Freisetzung von mineralischem Stickstoff eine untergeordnete Rolle (HUBER, 1988). Dieser Sachverhalt war im Herbst anhand geringer Nitratgehalte der Ackerbohnenvariante (a3) erkennbar und konnte im Frühjahr gegenüber den beiden anderen Varianten abgesichert werden. Auch die N_{\min} -Gehalte im März spiegelten den im Vergleich zu den anderen Vorfrüchten geringen Gehalt an löslichem Stickstoff nach Ackerbohnen deutlich wider.

Im Gegensatz zu den schwer abbaubaren Rückständen der Ackerbohnen sind die Körner stickstoffreich und leicht mineralisierbar. Durch die Ernte der Körner kann deren Potential zur Stickstoffnachlieferung jedoch nicht wirksam werden. Der Stickstoffentzug kann erheblich sein. So geht nach HUBER (1988) durch das Abfahren der Körner fast die gleiche Stickstoffmenge verloren, wie vorher über die N-Fixierung zugeführt wurde. PEOPLES et al. (1995) betonen, dass beim Anbau von Ackerbohnen unter ungünstigen Wachstumsbedingungen und einer demzufolge geringen N-Fixierungsleistung durchaus mit einer negativen N-Bilanz gerechnet werden kann.

Vergleicht man die Feldfuttermvariante (a1) mit der Grünbrachevariante (a2) hinsichtlich ihres Einflusses auf die Nitratgehalte im Winter bzw. Frühjahr, so ist aufgrund der differierenden Nutzungsweise zunächst von einer unterschiedlichen Stickstoffzufuhr in den Boden auszugehen. Während der Aufwuchs in a1 nach jedem Schnitt vom Feld entfernt wurde, verblieb er in a2 als Mulch auf der Fläche. Nach BOWREN et al. (1968) wird dem Boden durch das Einarbeiten eines Luzernebestandes die drei bis vierfache N-Menge zugeführt wie durch das alleinige Einarbeiten der Stoppeln.

Zur Abschätzung der kurzfristigen N-Wirkung einer Grünbrache muss berücksichtigt werden, dass das Pflanzenmaterial nach jedem Mulchvorgang nicht eingearbeitet wird, sondern über einen längeren Zeitraum auf der Bodenoberfläche verbleibt. Der leicht verfügbare Stickstoff im Mulch kann relativ schnell mineralisiert und von der Grünbrache inkorporiert

werden. Ebenso unterliegt er gasförmigen Verlusten in Form von Ammoniak (JANZEN & MCGINN, 1991, SMITH & SHARPLEY, 1993). Für die kurzfristige Mineralisation nach dem Umbruch einer Grünbrache sind deshalb vor allem die Wurzelmasse und frisch eingearbeitete Biomasse des letzten Mulchschnittes von Bedeutung.

Durch die Einarbeitung des jungen Pflanzenmaterials nach dem letzten Mulchtermin wurde der Boden in der Grünbrachevariante (a2) im Gegensatz zur Feldfuttermvariante (a1) mit leicht mineralisierbarer Substanz versorgt. Dadurch hätte man in a2 höhere Nitratgehalte nach dem Umbruch erwarten können. So fand DREESMANN (1993) im Winter nach dem Umbruch von Luzernegras-Grünbrachen deutlich höhere Nitratgehalte unter nachfolgendem Weizen als nach dem Umbruch von Luzernegras-Futter.

Es zeigte sich jedoch, dass die winterlichen Nitratgehalte die Unterschiede nicht eindeutig widerspiegeln. Höhere Krumennitratgehalte in der Grünbrachevariante (a2) im Vergleich zur Feldfuttermvariante (a1) waren im November zwar erkennbar, statistisch aber nicht abzusichern. Besonders bei den Nitrat- bzw. N_{\min} -Gehalten (0-90 cm) im Frühjahr wiesen die beiden Varianten fast identische Werte auf.

Ein Einfluss der Vorfrucht auf die winterliche Nitratverlagerung in Tiefen unter 90 cm war vermutlich (siehe Kap. 5.1) nicht gegeben, da die Veränderung der Nitratgehalte über Winter zwischen den Vorfruchtvarianten nicht verschieden war. In Lysimeterversuchen ergab sich dagegen unter Winterweizen mit Vorfrucht Ackerbohnen ein höherer Nitrataustrag als nach der Vorfrucht Luzerne (JUNG et al. 1989). Das Nitrat aus der Krume wurde wohl im wesentlichen nicht unter 90 cm verlagert. Andernfalls hätten sich die unterschiedlichen herbstlichen Krumennitratgehalte der Vorfruchtvarianten in der Bilanzierung widerspiegelt.

Der Verlauf der N_{\min} -Gehalte zwischen März und Weizenernte in Krume und Unterboden wurde vorwiegend durch den pflanzlichen Entzug bestimmt (KNOPF, 1977). Nach Wachstumsbeginn kam es allgemein zu einer Abnahme und Angleichung der Gehalte der einzelnen Vorfruchtvarianten. Zur Abreife des Weizens war, bedingt durch den abnehmenden N-Entzug (AICHBERGER, 1982), ein erneutes Ansteigen der N_{\min} -Gehalte zu beobachten. Ein Einfluss der verschiedenen Vorfrüchte auf das Niveau bzw. die Dynamik der Gehalte war z. T. erkennbar, insgesamt jedoch gering. Die getrennte Betrachtung der N_{\min} -Dynamik in Ober- und Unterkrume zeigte keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Vorfrüchten auf.

Zur Quantifizierung der unterschiedlichen N-Freisetzung der Varianten zwischen März und Weizenernte kann die für diesen Zeitraum berechnete N-Netto-Mineralisation herangezogen werden. Die geringere N-Nachlieferung aus den Ackerbohnenrückständen spiegelt sich auch in diesem Parameter wider. Die Tatsache, dass die Unterschiede nicht signifikant waren, muss vor dem Hintergrund der schlechten Absicherbarkeit des Faktors Vorfrucht gesehen werden (siehe Kap. 3.6).

Untersuchungen von HUBER (1988) bestätigen eine geringe Ausnutzung von Ackerbohnenstickstoff durch nachfolgenden Weizen. So wurden in Versuchen mit ^{15}N -markierten Ernterückständen nur 4 % des in Wurzeln und Stroh der Ackerbohnen vorhandenen Stickstoffs vom Weizen aufgenommen. Dieses Ergebnis unterstreicht die schon beschriebene schlechte Mineralisierbarkeit von Ackerbohnenrückständen.

Die Stickstoffnachlieferung in der Feldfuttermvariante (a1) und der Grünbrachevariante (a2) war dagegen deutlich stärker. Wie schon dargelegt, lagen hier höhere N-Mengen in den Ernterückständen vor als in der Ackerbohnenvariante (a3). Zudem zeichneten sich die Rückstände durch eine bessere Mineralisierbarkeit aus. Dass Weizen den Stickstoff aus Luzernerückständen wesentlich besser nutzt als den aus Ackerbohnenrückständen wurde von HEINZMANN (1981) in Gefäßversuchen nachgewiesen.

Der Einfluss der Vorfrüchte auf die Stickstoffversorgung des Weizens im Frühjahr sowie in der Vegetationsperiode kommt in den Parametern Sprossmassebildung, N-Gehalt und N-Entzug zum Ausdruck. Die geringere N-Versorgung der Ackerbohnenvariante (a3) gegenüber der Feldfuttermvariante (a1) bzw. der Grünbrachevariante (a2) ist klar ersichtlich.

Dagegen waren Unterschiede zwischen a1 und a2 hinsichtlich der genannten Parameter zwar erkennbar, jedoch an keinem Termin abzusichern. Aufgrund des höheren N-Inputs durch die Grünbrache ist dieses Ergebnis überraschend. So fand DREESMANN (1993) im Mai eine signifikant höhere Sprossmassebildung bei Weizen nach Luzernegras-Grünbrache im Vergleich zu Luzernegras-Futterbau.

5.2.2 Faktor Bodenbearbeitung

Im Gegensatz zu den Vorfruchtvarianten hatte die unterschiedliche Bodenbearbeitung keinen differenzierenden Einfluss auf die Nitratgehalte der Krume im Herbst. Dies bestätigt Untersuchungen von DREESMANN (1993), der zwischen November und März keinen

signifikanten Einfluss von Pflug bzw. Schichtengrubber auf die Nitratgehalte der Krume absichern konnte. Im Gegensatz dazu wurden von KOHL & HARRACH (1991) im Herbst nach dem Einsatz des Pfluges höhere Nitratkonzentrationen in der Krume gemessen als nach der Bearbeitung mit dem Schichtengrubber.

Wenn auch bis zum Frühjahr leichte Unterschiede im Nitratgehalt einzelner Schichten erkennbar waren, ist der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Nitratgehalte im Herbst und Frühjahr insgesamt gering. Die N_{\min} -Gehalte im März spiegeln dies ebenfalls deutlich wider.

Ein Einfluss der Bodenbearbeitung auf die winterliche Nitratverlagerung war vermutlich (siehe Kap. 5.1) nicht gegeben, da die Veränderung der Nitratgehalte über Winter zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten nicht verschieden war. Dieses Resultat bestätigt Ergebnisse von HEB (1989), der hinsichtlich der N-Konservierung über Winter keine eindeutigen Effekte zwischen den Varianten flacher Pflug, tiefer Pflug und Rotorgrubber fand.

Auf die N_{\min} -Gehalte zwischen März und Ernte in Krume und Unterboden hatte die Bodenbearbeitung zu keinem Termin einen signifikanten, differenzierenden Einfluss. Die Dynamik der Gehalte wurde, wie schon bei den Vorfrüchten erläutert, in erster Linie durch den N-Entzug des Weizens geprägt (siehe Kap.5.2.1).

Bei der getrennten Betrachtung der N_{\min} -Dynamik in Ober- und Unterkrume werden Effekte der Zweischichtbodenbearbeitung deutlich. Die N_{\min} -Gehalte der Oberkrume waren in der Pflugvariante (b1) im Vergleich zu den reduzierten Verfahren (b2, b4) an einigen Terminen niedriger. Im Unterboden kehrten sich die Verhältnisse um.

Eine Erklärung für diesen Sachverhalt ist in der unterschiedlichen Verteilung organischer Rückstände in der Krume zu sehen. Während bei der Pflugvariante (a1) ein großer Teil der Rückstände bis in eine Tiefe von 30 cm eingearbeitet wurde, verblieben sie in der Zweischichtenpflugvariante (b2) sowie der Schichtengrubbervariante (b4) überwiegend in 0-15 cm. Untersuchungen von TEBRÜGGE (1987) über die Strohverteilung verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte bestätigen diese Annahme.

Die differierenden N_{\min} -Gehalte in Ober- und Unterkrume spiegeln somit Unterschiede im Vorhandensein mineralisierbarer Rückstände wider. Interessant ist, dass sich dieser Effekt trotz des starken Stickstoffentzuges durch den Weizen auf die N_{\min} -Gehalte auswirkte.

Ähnliche Resultate wurden von HÜTSCH (1991) für Nitrat gefunden. Nach Pflugbearbeitung kam es im Vergleich zu reduzierten Verfahren zu geringeren Nitratgehalten in der Oberkrume sowie zu einer relativen Anreicherung in der Unterkrume. Allerdings war dieser Effekt erst nach mehreren Jahren differenzierter Bearbeitung abzusichern.

Auf die für den Zeitraum März bis zur Weizenernte berechnete N-Netto-Mineralisation hatte die Bodenbearbeitung einen signifikanten Einfluss. Die Pflugvariante (b1) wies, wenn auch nur gegenüber der Zweischichtenpflugvariante (b2) eindeutig abgrenzbar, den höchsten Wert auf. Durch die Pflugbearbeitung kam es also erst im Laufe der Vegetation zu einer etwas höheren N-Freisetzung. Im Frühjahr waren dafür noch keine Anzeichen gegeben.

Betrachtet man die Wirkung der Bodenbearbeitung auf die Parameter Sprossmassebildung, und N-Gehalt des Weizens, so finden sich auch hier Hinweise für eine bessere N-Versorgung in der Pflugvariante. So waren in b1 eine signifikant höhere Sprossmassebildung zur Ernte sowie im April höhere N-Gehalte im Aufwuchs des Weizens zu messen als in der Schichtengrubbervariante (b4).

Es wird deutlich, dass eine höhere N-Freisetzung in der Pflugvariante (b1) anhand der erfassten Parameter jeweils nur gegenüber einem der reduzierten Verfahren (b2 bzw. b4) eindeutig abzusichern war. Trotzdem ist anhand des Datenmaterials eine Überlegenheit dieser Variante gegenüber den reduzierten Verfahren insgesamt zu erkennen. Im Gegensatz dazu waren Unterschiede zwischen der Zweischichtenpflugvariante (b2) und der Schichtengrubbervariante (b4) für keinen der erfassten Parameter abzusichern.

Eine stärkere N-Freisetzung aus dem Boden durch Pflugbearbeitung im Vergleich zu reduzierten Verfahren ist auf langjährig differenziert bearbeiteten Flächen oftmals nicht nachzuweisen. So stellte RICHTER (1995) zum Zeitpunkt der Ernte höhere N-Mengen sowie eine höhere Sprossmassebildung von Weizen nach reduzierter Bearbeitung (Schichtengrubber) als nach konventioneller Bearbeitung (Pflug) fest. RICE et al. (1986) fanden nur in den ersten Versuchsjahren eine stärkere Mineralisation nach Pflugbearbeitung im Vergleich zur Direktsaat. Nach 13 Jahren waren keine Unterschiede mehr festzustellen. Dem Autor zufolge kann der Pflug durch den Abbau von organischer Substanz nicht unbeschränkt eine

höhere Menge an Stickstoff mobilisieren. Vielmehr kommt es im Laufe der Zeit zu einer relativen Entleerung des Bodenstickstoffvorrates. Im Gegensatz dazu ist in der Direktsaatvariante mit einer allmählichen Akkumulation von organischem Stickstoff zu rechnen. Aus diesem N-Pool erfolgt dann eine zumindest gleich hohe N-Nachlieferung wie nach der Pflugbearbeitung.

Die höhere N-Nachlieferung in der Pflugvariante (b1) könnte somit durch die kurze Versuchslaufzeit bedingt sein.

Es muss jedoch betont werden, dass die im Feldversuch eingesetzten Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung wesentlich stärker in den Boden eingreifen als die Direktsaat. Die Ergebnisse sind deshalb nicht im selben Maße übertragbar.

5.3 Ertragsstruktur, Ertrag und Qualität des Weizens

Vor der Besprechung der Ertragsparameter wird zunächst der Einfluss der Versuchsfaktoren auf die Anzahl der Keimpflanzen im Herbst diskutiert.

Ein unterschiedliches Stickstoffangebot führt nach GEISLER (1983) normalerweise nicht zu einer Differenzierung der Keimpflanzenzahl, da der Keimling seine Nährstoffe noch aus der Karyopse bezieht. Der Einfluss der Versuchsfaktoren müsste deshalb auf einem anderen Weg erfolgen. So kann von der differenzierten Bodenbearbeitung eine Wirkung auf die Saatbettqualität ausgehen. Wendende Bodenbearbeitung schafft eine von Pflanzenrückständen freie Bodenoberfläche („reiner Tisch“), wodurch die Saatgutablage störungsfreier erfolgen kann als nach nicht wendender Bodenbearbeitung (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN, 2000). Eine daraus abzuleitende negative Beeinflussung der Keimdichte nach nicht wendender Bodenbearbeitung, wie sie z.T. von BECKER & KOCH (1997) beobachtet wurde, konnte in den eigenen Untersuchungen nicht festgestellt werden. So lag die Pflanzendichte in der Schichtengrubbervariante (b4) auf dem gleichen Niveau wie in den Varianten mit wendender Bodenbearbeitung.

Auch die Vorfrüchte können die Menge an oberflächlichen Ernterückständen und damit die Saatbettqualität beeinflussen (VYN et al., 1991). Es waren jedoch keine Unterschiede in der Keimdichte zwischen den Vorfruchtvarianten abzusichern.

Die Ausbildung der einzelnen Ertragskomponenten (Bestandesdichte, Körner pro Ähre, Tausendkornmasse) erfolgt während des Entwicklungsverlaufes des Weizens in unterschiedlichen Zeitabschnitten. Die jeweils vorherrschenden Wachstumsbedingungen bestimmen über deren Ausprägung. Der Stickstoffernährung kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da über die Stickstoffkonzentration im pflanzlichen Gewebe physiologische Vorgänge gesteuert werden, die direkt auf die Ertragsbildung einwirken (GEISLER, 1983).

Der Einfluss der Stickstoffernährung auf die Bestandesdichte (Ähren/m²) des Weizens besteht zunächst in der Wirkung auf die Bestockung, d.h. auf den Umfang der Bildung von Bestockungstrieben im Frühjahr. Im weiteren Verlauf wird der Grad der Reduktion angelegter Triebe beeinflusst. Die Reduktionsvorgänge finden beim Übergang zum Schossen und auch noch während des Schossens statt (GEISLER, 1983).

Die Tatsache, dass die Bestandesdichte des Weizens im Versuch durch die Vorfrucht nicht beeinflusst wurde, überrascht, da bedingt durch die unterschiedliche Stickstoffversorgung sowohl ein Einfluss auf die Bestockung als auch auf die Triebreduktion zu erwarten gewesen wäre. Demnach hat der Stickstoff bei der Ausbildung der Bestandesdichte nicht differenzierend gewirkt. Dies zeigt sich auch daran, dass das Verhältnis zwischen der Bestandesdichte und der Anzahl an Keimpflanzen im Herbst (Tab. 14) zwischen den Vorfruchtvarianten nahezu identisch war, während es zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten signifikante Unterschiede aufwies. Differenzen in der Stickstoffversorgung des Weizens, die in erster Linie durch die Vorfrucht bedingt waren, haben sich demnach nicht differenzierend ausgewirkt. Ein deutlicher Einfluss unterschiedlicher Vorfrüchte auf die Bestandesdichte von Winterweizen wurde dagegen von SCHAHBAZIAN & GRETZMACHER (1998) gefunden. Nach der Vorfrucht Luzerne war die Bestandesdichte signifikant höher als nach Sojabohnen.

Trotz der differenzierenden Wirkung der Bodenbearbeitungsvarianten auf das Verhältnis zwischen Bestandesdichte und Keimpflanzenzahl war ein Einfluss des Faktors Bodenbearbeitung auf die Bestandesdichte nicht abzusichern. Ebenfalls keinen Einfluss differenzierter Bodenbearbeitung auf die Bestandesdichte von Weizen fanden VYN et al. (1991) und HEB (1989).

Die Anzahl an Körnern pro Ähre wird zwischen der Phase der Bestockung und dem Beginn der Blüte festgelegt. Auch hier kommt es nach der Ausbildung einer maximalen Zahl von Ährchen und Blütchen zu Reduktionsvorgängen. Die Entwicklungsphase, in der die Kornzahl pro Ähre bestimmt wird, überschneidet sich somit mit der Phase der Ausbildung der Bestandesdichte, ist aber zeitlich etwas später einzuordnen (GEISLER, 1983).

Die Anzahl an Körnern pro Ähre war in der Ackerbohnenvariante (a3) deutlich geringer als in der Feldfuttermvariante (a1) und der Grünbrachevariante (a2). Die unterschiedliche N-Versorgung hat hierbei sicher eine Rolle gespielt. So fiel in dieser Phase die N-Aufnahme des Weizens in a3 gegenüber a1 und a2 zunehmend zurück.

Die N-Aufnahme der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten verlief demgegenüber wesentlich einheitlicher. Dies ist wahrscheinlich ein Grund dafür, dass die Kornzahl pro Ähre von der Bodenbearbeitung nicht beeinflusst wurde.

Die Ausbildung der Tausendkornmasse erfolgt ab der Blüte bzw. der Befruchtung des Weizens. Der Zeitraum bis zum Absterben der Pflanze bestimmt über den Grad der Kornfüllung (GEISLER, 1983).

Insgesamt erreichte die Tausendkornmasse des Weizens ein hohes, mit konventioneller Landwirtschaft vergleichbares Niveau (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN, 2000). Ein Grund dafür ist sicher in der kühlen und feuchten Witterung während der Kornfüllungsphase zu suchen. Die Einlagerung der Assimilate in das Endosperm wurde im Versuchsjahr nicht durch ein schnelles Abreifen der Pflanzen beendet.

Wie schon erwähnt, wird die Tausendkornmasse erst spät in der Entwicklung des Weizens determiniert. In Bezug auf die Stickstoffversorgung ist also die N-Nachlieferung des Bodens eine wichtige Größe für deren Ausprägung. Durch die im Versuch ermittelte N-Netto-Mineralisation können demnach Unterschiede in der Tausendkornmasse begründet werden. Einschränkend muss jedoch gesagt werden, dass die N-Netto-Mineralisation für den Zeitraum März bis Weizenernte berechnet wurde und somit nicht nur die N-Freisetzung während der Kornausbildung charakterisiert. Ferner muss beachtet werden, dass auch ein unterschiedlicher Nitratvorrat der tieferen Bodenschichten im Frühjahr differenzierend auf die Tausendkornmasse wirken kann (HEß, 1989). So wird nach MATZEL et al. (1984) dieser Stickstoff noch bis in die Kornfüllungsphase vom Weizen aufgenommen.

Trotz einer unterschiedlichen N-Versorgung des Weizens durch die verschiedenen Vorfrüchte (Nitrat-N Frühjahr (60-90 cm), N-Netto-Mineralisation) war ein signifikanter Einfluss dieses Faktors auf die Tausendkornmasse nicht abzusichern.

Im Gegensatz dazu hatte die unterschiedliche Bodenbearbeitung einen höchstsignifikanten Einfluss auf die Tausendkornmasse. In der Pflugvariante (b1) wies sie, wenn auch statistisch nur gegenüber der Schichtengrubbervariante (b4) abgrenzbar, den höchsten Wert auf. Die Tatsache, dass in b1 auch die höchste N-Netto-Mineralisation auftrat, kann eine mögliche Begründung für diesen Sachverhalt sein. Einschränkend muss jedoch gesagt werden, dass die höhere N-Netto-Mineralisation in der Pflugvariante (b1) nur gegenüber der Zweischichtenpflugvariante (b2) und nicht wie bei der Tausendkornmasse gegenüber der Schichtengrubbervariante (b4) abzugrenzen war.

Im Gegensatz zu den eigenen Ergebnissen wurde ein Einfluss tief wendender bzw. reduzierter Bodenbearbeitung auf die Tausendkornmasse in den Untersuchungen von VYN et al. (1991), BECKER & KOCH (1997) und DREESMANN (1993) nicht bestätigt.

Im Versuch wurde ein mittlerer Kornertrag von 42,7 dt/ha. erzielt. Das durchschnittliche Ertragsniveau für Winterweizen auf dem Gladbacherhof liegt bei ca. 45 dt/ha (SCHMIDT, 2000). Der Ertrag des Versuches lag somit auf einem befriedigenden Niveau.

Die Kornerträge spiegelten im wesentlichen die unterschiedliche N-Aufnahme der Varianten wider. Die mäßige N-Versorgung in der Ackerbohnenvariante (a3) resultierte in einem gegenüber der Feldfuttervariante (a1) bzw. der Grünbrachevariante (a2) deutlich niedrigeren

Ertrag. Geringere Weizenерträge nach der Vorfrucht Ackerbohne verglichen mit der Vorfrucht Luzerne fanden sich auch in den Untersuchungen von HEINZMANN (1981). SCHAHAZIAN & GRETZMACHER (1998) berichteten von niedrigeren Weizenерträgen nach Sojabohnen als nach Luzerne.

Für den Faktor Bodenbearbeitung war ein höherer Ertrag in der Pflugvariante (b1) gegenüber der Schichtengrubbervariante (b4) abzusichern. Dieses Resultat bestätigt Ergebnisse von HAMPL (1999), der in einem anderen Versuch mit fast identischen Varianten allerdings nur in einem Jahr signifikante Unterschiede im Weizenерtrag absichern konnte. Keine Ertragsunterschiede bei Weizen nach tief wendender bzw. reduzierter Bodenbearbeitung wurden dagegen von VYN et al. (1991) sowie RICHNER & RIEGER (1998) gefunden.

Die Analyse der Korrelation der einzelnen Ertragsparameter mit dem Kornertrag macht die wichtige Rolle der Kornzahl pro Ähre bei der Ertragsbildung deutlich. Die Ergebnisse bestätigen Untersuchungen von STOEPLER (1988), wonach diesem Parameter, vor der Tausendkornmasse, eine entscheidende Rolle bei der Ertragsbildung von Winterweizen im Ökologischen Landbau zukommt. Auch der von STOEPLER (1988) beschriebene geringe Einfluss der Bestandesdichte auf die Ertragsbildung wurde in der vorliegenden Untersuchung bestätigt.

Der durchschnittliche Proteingehalt des Weizens (11,7 %) liegt nach ABERHAM (1999) auf einem guten Niveau. Im geringen Proteingehalt der Ackerbohnenvariante (a3) (10,9 %) spiegelt sich die mäßige Stickstoffversorgung in der generativen Entwicklung des Weizens wider (HEYLAND & KNOPF, 1980).

Die Tatsache, dass der Proteingehalt durch die Bodenbearbeitung nicht beeinflusst wurde, bestätigt Untersuchungen von BECKER & KOCH (1997) sowie RICHNER & RIEGER (1998).

5.4 Schlussfolgerung

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass die Ackerbohne in der Stickstoffwirkung dem Feldfutter und der Grünbrache als Vorfrucht für Winterweizen unterlegen ist. Dies spiegelte sich u.a. in den Parametern Kornertrag und Proteingehalt des Weizens deutlich wider. Die Gründe für diesen Sachverhalt liegen in der Morphologie (geringe Ernte- und Wurzelrückstände), der innerpflanzlichen Stickstoffverteilung (hoher N-Gehalt der Körner) und der Nutzungsart (Ernte der Körner) der Ackerbohne. Dieses Resultat bestätigt frühere Ergebnisse aus der Literatur.

Eine unterschiedliche Wirkung der Varianten Feldfutter und Grünbrache auf die untersuchten Parameter war z.T. erkennbar, konnte jedoch zu keinem Zeitpunkt abgesichert werden. Somit hat die verschiedenartige Nutzung des Luzernegrases dessen kurzfristige N-Wirkung nur wenig beeinflusst.

Die differenzierte Bodenbearbeitung hatte im Versuch insgesamt nur geringe Effekte auf den Umfang der N-Freisetzung. Im Laufe der Vegetationsperiode zeichnete sich allerdings eine etwas höhere Mineralisation nach tiefer Pflugbearbeitung ab, die sich auch im Ertrag des Weizens widerspiegelte.

Eine unterschiedliche Wirkung der beiden Verfahren der Zweischichtbodenbearbeitung konnte für keinen der erfassten Parameter abgesichert werden.

Den Versuchsergebnissen zufolge sind somit durch reduzierte Verfahren der Bodenbearbeitung bezüglich der N-Freisetzung kurzfristig gesehen geringe Nachteile zu erwarten. Geht man davon aus, dass es im Laufe der Jahre in den reduzierten Verfahren zu einer Akkumulation von organischem Stickstoff kommt, woraus eine allmähliche höhere N-Freisetzung resultieren würde, so wären langfristig gesehen eventuell keine Nachteile gegenüber dem Pflug mehr zu erwarten.

Es muss jedoch betont werden, dass durch die reduzierte Bodenbearbeitung auch andere, im Rahmen der Untersuchung nicht erfasste Parameter beeinflusst werden. So könnte etwa durch die nicht wendende Bearbeitung des Schichtengrubbers langfristig gesehen ein erhöhter Beikrautdruck auftreten.

6 Zusammenfassung

In einem Feldversuch wurde der Einfluss unterschiedlicher Vorfrüchte sowie einer differenzierten Bodenbearbeitung auf die Stickstoffdynamik des Bodens sowie die N-Aufnahme und Ertragsbildung von Winterweizen unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus untersucht. Als Versuchsstandort diente der Lehr- und Versuchsbetrieb für Ökologischen Landbau der Universität Giessen, Gladbacherhof, in der Nähe von Weilburg, Kreis Limburg. Als Vorfrüchte wurden Luzernegras-Futterbau, Luzernegras-Grünbrache sowie Ackerbohnen eingesetzt. Die differenzierte Bodenbearbeitung beinhaltete die drei Geräte Pflug, Zweischichtenpflug sowie Schichtengrubber mit Rotoregge.

Untersuchungsparameter waren die Dynamik der Nitrat- und N_{\min} -Gehalte in verschiedenen Bodentiefen sowie die Entwicklung der Sprossmassebildung, des Stickstoffgehaltes und Stickstoffentzuges des Weizens. Neben Kornertrag und Proteingehalt wurden auch die Ertragsparameter Bestandesdichte, Körner pro Ähre und Tausendkornmasse ermittelt. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Im Frühjahr waren nach Ackerbohnen geringere Gesamtgehalte an löslichem Stickstoff im Boden zu verzeichnen als nach Feldfutter und Grünbrache. Die ebenfalls geringere N-Nachlieferung während der Vegetationszeit in dieser Variante war statistisch nicht abzusichern. Die Parameter Sprossmassebildung, N-Gehalt und N-Aufnahme des Weizens wiesen nach Ackerbohnen an fast allen Terminen geringere Werte auf als nach Feldfutter und Grünbrache. Die gleiche Rangfolge war auch im Kornertrag und Proteingehalt des Weizens wiederzufinden. Bestandesdichte und Tausendkornmasse wurden von den unterschiedlichen Vorfrüchten nicht signifikant beeinflusst. Die Anzahl an Körnern pro Ähre war nach Ackerbohnen geringer als nach Feldfutter bzw. Grünbrache. Unterschiede zwischen Feldfutter und Grünbrache bezüglich aller genannten Parameter waren an keinem Termin abzusichern.

Der Faktor Bodenbearbeitung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtgehalte an löslichem Stickstoff im Frühjahr. Nach dem Pflug war eine höhere N-Nachlieferung in der Vegetationszeit als nach dem Zweischichtenpflug abzusichern. Bezüglich der Parameter Sprossmassebildung, N-Gehalt und N-Aufnahme des Weizens waren nur vereinzelt geringe Unterschiede zwischen den Varianten festzustellen. Nach Pflugbearbeitung wurde ein höherer Kornertrag als nach Schichtengrubberbearbeitung erzielt. Der Proteingehalt sowie die Ertragsparameter Bestandesdichte und Anzahl an Körnern pro Ähre wurden durch die unterschiedliche Bodenbearbeitung nicht variiert. In der Pflugvariante war eine höhere Tausendkornmasse als in der Schichtengrubbervariante festzustellen.

7 Literaturverzeichnis

ABERHAM, R., 1999: persönliche Mitteilung. Labor Dr. Abehm, Großaitingen.

AICHBERGER, K., 1982: Veränderungen des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffgehaltes (N_{\min}) im Jahresablauf. Die Bodenkultur, **33**, 277-285.

AMBERGER, A., 1996: Pflanzenernährung. Verlag E. Ulmer, Stuttgart.

ARMSTRONG, E.L., D.P. HENAN, J.S. PATE and M.J. UNKOVICH, 1997: Nitrogen benefits of lupins, field pea, and chickpea to wheat production in south-eastern Australia. Aust. J. Agric. Res., **48**, 39-47.

BAEUMER, K., 1984: Auswirkungen langjähriger Minimalbodenbearbeitung. Arb. d. DLG, **179**, 98-113.

BAEUMER, K., 1985: Bodenbearbeitung und Fruchtfolge. Hochschultagung 1985, Arbeitskreis Ackerbau, Uni. Göttingen, 1-23.

BECK, T., 1979: Die Nitrifikation im Boden (Sammelreferat). Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., **142**, 344-364.

BECKER, C. und H.-J. KOCH, 1997: Ertrag und Qualität von Winterweizen, Triticale und Körnerleguminosen nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Großflächen verschiedener Standorte. Pflanzenbauwissenschaften, **1** (4), 183-191.

BIEDERBECK, V.O. and C.A. CAMPBELL, 1973: Soil microbial activity as influenced by temperature trends and fluctuations. Can. J. Soil Sci., **53**, 363-376.

BOWREN, K.E., D.A. COOKE and R.K. DOWNEY, 1968: Yield of dry matter and nitrogen from tops and roots of sweetclover, alfalfa, and red clover at five stages of growth. Can. J. Plant Sci., **49**, 61-68.

- BRAUN, H., 1980: Die Stickstoffdüngung des Getreides. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- BRODER, M.W., J.W. DORAN, G.A. PETERSON and C.R. FENSTER, 1984: Fallow tillage influence of spring populations of soil nitrifiers, denitrifiers, and available nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J., **48**, 1060-1067.
- DORAN, J.W., 1980: Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. Soil Sci. Soc. Am. J., **44**, 765-771.
- DREESMANN, S., 1993: Pflanzenbauliche Untersuchungen zu Rotklee- und Luzernegras-Grünbrachen in der modifizierten Fruchtfolge Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste. Diss., Uni. Bonn.
- ESTLER, M., 1995: Praktische Bodenbearbeitung. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- FOERSTER, P. und A. MEYERCORDT, 1994: Stickstoff-Dynamik nach Klee grasumbruch. Ökologie und Landbau, **92**, 50-52.
- GEISLER, G., 1983: Die Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Verlag P. Parey, Berlin.
- GUTSER, R. und K. TEICHER, 1988: Veränderungen des löslichen Stickstoffes einer Ackerbraunerde unter Winterweizen im Jahresverlauf. Bayer. Landw. Jahrbuch, **53**, 215-226.
- GUTSER, R. und K. VILSMEIER, 1988: Mineralisation verschiedener Zwischenfrüchte und N-Verwertung durch Pflanzen. Kali-Briefe, **19**, 199-211.
- HAMPL, U., 1995: Bodenbearbeitung und Beikrautregulierung im ökologischen Landbau. SÖL-Sonderausgabe Nr. 56. Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim.
- HAMPL, U., 1999: Ergebnisbericht 1999. Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim.

- HANUS, H., 1979: Nährstoffhaushalt und Düngungsbedarf bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Kali-Briefe, **14**, 487-494.
- HEINZMANN, F., 1981: Assimilation von Luftstickstoff durch verschiedene Leguminosenarten und dessen Verwendung durch Getreidenachfrüchte. Diss., Uni. Hohenheim.
- HERRMANN, G. und G. PLAKOLM, 1991: Ökologischer Landbau. Österr. Agrarverlag, Wien.
- HEß, J., 1989: Klee grasumbruch im Organischen Landbau: Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied Klee gras-Klee gras-Weizen-Roggen. Diss., Uni. Bonn.
- HEß, J. und A. KLEIN, 1987: Möglichkeiten zur Verringerung der N-Frühjahrs lücke im Organischen Landbau durch verbesserte Nutzung von Leguminosen-N und systemkonforme Düngungsmaßnahmen. Forschung und Beratung, Reihe B, **36**, 42-63.
- HEYLAND, K.U. und H.E. KNOPF, 1980: N-Angebot und N-Aufnahme und ihr zeitlicher Bezug zur Ertragsbildung von Winterweizen und Wintergerste. Bayer. Landw. Jahrbuch, **57**, 359-375.
- HOFFMANN, A. und J. RICHTER, 1988: 10 Jahre N_{min} -Methode in Südostniedersachsen, Erfolge, Erfahrungen, Grenzen. Kali-Briefe, **19**, 277-296.
- HOFMANN, B., H. RÄBIGER und J. DUNKEL, 1993: Der Einfluß gefügeschonender Bearbeitung auf ausgewählte Bodeneigenschaften und Erträge eines lehmigen Sandbodens in Mitteldeutschland. Kühn-Arch., **87**, 137-145.
- HUBER, R., 1988: Biologische N-Fixierung der Ackerbohnen und deren Auswirkungen auf den N-Haushalt des Bodens im Rahmen getreidebetonter Fruchtfolgen. Diss., ETH Zürich.
- HÜTSCH, B., 1991: Einfluß differenzierter Bodenbearbeitung auf die Stickstoffdynamik im Boden in Abhängigkeit von Beprobungstermin und Standort, unter besonderer Berücksichtigung von N-Freisetzung, Nitratverlagerung und Denitrifikation. Diss., Uni. Giessen.

- JANZEN, H.H. and S.M. MCGINN, 1991: Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. *Soil Biol. Biochem.*, **23**, 291-297.
- JUNG, J., J. DRESSEL and R. KUCHENBUCH, 1989: Nitrogen balance of legume-wheat cropping sequences. *Z. f. Acker- und Pflanzenbau*, **162**, 1-9.
- KAHNT, G., 1995: Minimal Bodenbearbeitung. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- KNOPF, HE., 1977: N-Angebot und N-Aufnahme und ihr zeitlicher Bezug zur Ertragsbildung bei Winterweizen und Wintergerste. Diss., Uni. Bonn.
- KÖHNLEIN, J., 1972: Einfluß der winterlichen Stickstoffauswaschung auf die Stickstoffversorgung des Getreides. *Landwirtsch. Forsch.*, **25**, SH 27, 1-15.
- KÖHNLEIN, J. und H. VETTER, 1953: Ernterückstände und Wurzelbild. Verlag P. Parey, Berlin.
- KOHL, R. und T. HARRACH, 1991: Zeitliche und räumliche Variabilität der Nitratkonzentration in der Bodenlösung in einem langjährigen Bodenbearbeitungsversuch. *Z. Kulturtech. Landentw.*, **32**, 80-87.
- LIEBIG, J., 1867 zitiert nach: HAMPL, U., 1997: Stickstoff im ökologischen Landbau - altes Wissen, neues Forschen. *Ökologie und Landbau*, **103**, 6-8.
- LINN, D.M. and J.W. DORAN, 1984: Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**, 794-799.
- LÜTKE ENTRUP, N. und J. OEHMICHEN, 2000: Lehrbuch des Pflanzenbaues. T. Mann Verlag, Gelsenkirchen.
- MATZEL, W., W. TESKE und H. LIPPOLD, 1984: Nitrataufnahme aus unterschiedlichen Bodentiefen durch Wintergetreide. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.*, **28**, 393-401.

- MENGEL, K., 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. G. Fischer Verlag, Jena.
- PEOPLES, M.B., D.F. HERRIDGE and J.K. LADHA, 1995: Enhancing Legume N₂ Fixation through Plant and Soil management. Plant and Soil, **174**, 83-101.
- RICE, C.W., S. SMITH and R.L. BLEVINS, 1986: Soil nitrogen availability after long-term continuous no tillage and conventional tillage corn production. Soil Sci. Soc. Am. J., **50**, 1206-1210.
- RICHNER, W. und S. RIEGER, 1998: Einfluß von pfluglosen Bestellsystemen auf Stickstoffversorgung und Ertragsbildung von Winterweizen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss., **11**, 57-58.
- RICHTER, U., 1995: Einfluß langjährig differenzierter Bodenbearbeitungssysteme auf das Bodengefüge und den Stickstoffhaushalt. Diss., Uni. Giessen.
- SCHAHBAZIAN, N. and R. GRETZMACHER, 1998: Improving the productivity of winter wheat in Iran through rotation of wheat, fallow, soybean and alfalfa and manuring. Die Bodenkultur, **49** (3), 151-157.
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL, 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHMIDT, H., 2000: persönliche Mitteilung. Institut für Organischen Landbau, Uni. Giessen.
- SIEBENEICHER, G.E., 1993: Handbuch für den biologischen Landbau. Naturbuch-Verlag, Augsburg.
- SMITH, S.J. and A.N. SHARPLEY, 1993: Nitrogen availability from surface-applied and soil-incorporated crop residues. Agron. J., **85**, 776-778.

- STOEPPLER, H., 1988: Zur Eignung von Winterweizensorten hinsichtlich des Anbaues und der Qualität der Produkte in einem System mit geringer Betriebsmittelzufuhr von außen. Diss., Uni. Gh. Kassel.
- TEBRÜGGE, F., 1987: Landtechnische Verfahren zum Bodenschutz. Z. Kulturtech. Flurber., **28**, 175-183.
- VYN, T.J., J.C. SUTTON and B.A. RAIMBAULT, 1991: Crop sequence and tillage effects on winter wheat development and yield. Can. J. Plant Sci., **71**, 669-676.

8 Anhang

Zusammenfassung aller Maßnahmen der Fruchtfolge und Bodenbearbeitung 1998/99

1998

a1: 01.04.: Saat des Luzerne-Klee-Gras-Gemenges als Untersaat in Sommerweizen
14.05.: Schnitt des Weizens; 06.08. u. 17.10.: weitere Schnitte

a2: 01.04.: Saat des Luzerne-Klee-Gras-Gemenges als Untersaat in Sommerweizen
09.08.: Ernte des Weizens (Stroh abgefahren); 16.10.: Mulchschnitt

a3: 15.08.: Ernte des Sommerweizens und Saat der Zwischenfrucht
(Leguminoen-/Nichtleg.-Gemenge)

Grundbodenbearbeitung (nur a3):

b1: 15.08.: Schwergrubber u. Kreiselegge; 21.11.: Pflug (30 cm)

b2: 15.08.: Zweisichtenpflug u. Kreiselegge; 21.11.: Pflug (15 cm)

b3: 15.08.: Zweisichtenpflug u. Kreiselegge

b4: 15.08.: Schichtengrubber mit Rotoregge

1999

a1: 25.05., 08.07., 19.08. u. 22.09.: Schnitte des Luzernegrases; 27.09.: Umbruch
20.10.: Saat des Winterweizens

a2: 26.05., 15.07., 24.08. u. 23.09.: Mulchschnitte des Luzernegrases; 27.09.: Umbruch
20.10.: Saat des Winterweizens

a3: 20.04.: Saat der Ackerbohnen; 26.04.: Blindstriegeln;
28.05. u. 04.06.: Maschinenhacke; 09.06.: Grasuntersaat;
02.09.: Ernte der Ackerbohnen; 27.09.: Umbruch; 20.10.: Saat des Winterweizens

b1: 20.04.: Egge u. Kreiselegge (nur a3); 27.09.: Rotoregge; 16.10.: Saatbettkombination;
18.10.: Pflug (30 cm); 19.10.: Packer u. Kreiselegge

b2: 20.04.: Egge u. Kreiselegge (nur a3); 27.09.: Rotoregge; 16.10.: Saatbettkombination;
18.10.: Zweisichtenpflug; 19.10.: Packer u. Kreiselegge

b3: 18.03.: Rotoregge (nur a3); 20.04.: Rotoregge u. Kreiselegge (nur a3)
27.09.: Rotoregge; 16.10.: Saatbettkombination; 18.10.: Zweisichtenpflug
19.10.: Packer u. Kreiselegge

b4: 18.03.: Rotoregge (nur a3); 20.04.: Rotoregge u. Kreiselegge (nur a3)
27.09.: Rotoregge; 16.10.: Saatbettkombination;
19.10.: Schichtengrubber mit Rotoregge

Zusammensetzung der Vorfrüchte 1999:

Vorfrucht	Kulturart	Sorte	Aussaatstärke
(a1) Luzernegras-Feldfutter und (a2) Luzernegras-Grünbrache	Luzerne	Verko	8 kg/ha
	Luzerne	Europe	4 kg/ha
	Wiesenschwingel	Belimo	2,1 kg/ha
	Wiesenschwingel	Lifelix	2,1 kg/ha
	Lieschgras	Lirocco	1,6 kg/ha
	Dt. Weidelgras	Kerum	0,8 kg/ha
	Dt. Weidelgras	Lippery	0,8 kg/ha
	Weissklee	Milka	0,6 kg/ha
(a3) Ackerbohnen	Ackerbohnen	Shirocco	235 kg/ha

Bemerkung:

Die im Rahmen des Feldversuches erfassten Daten können bei Bedarf im Institut für Organischen Landbau der Universität Giessen eingesehen werden.